Universitätsklinik und Poliklinik für Hals-, Nasen- und Ohrenkranke
Direktor: Prof. Dr. W. Kley

OKULÄRE BEWEGUNGSMUSTER BEIM BETRACHTEN RÄUMLICHER STRUKTUREN

I n a u g u r a l - D i s s e r t a t i o n

verfaßt und der

Hohen Medizinischen Fakultät

der
Julius-Maximilians-Universität Würzburg

zur
Erlangung der medizinischen Doktorwürde

vorgelegt von

M. Mehdi Tondrow
aus Babol/Iran

Würzburg, den 16.6.1980

1981

Universitätsklinik und Poliklinik für Hals-, Nasen- und Ohrenkranke
Direktor: Prof. Dr. W. Kley

OKULÄRE BEWEGUNGSMUSTER BEIM BETRACHTEN RÄUMLICHER STRUKTUREN

I n a u g u r a l - D i s s e r t a t i o n

verfaßt und der

Hohen Medizinischen Fakultät

der
Julius-Maximilians-Universität Würzburg

zur
Erlangung der medizinischen Doktorwürde

vorgelegt von

M. Mehdi Tondrow
aus Babol/Iran

Würzburg, den 16.6.1980

Referent : Prof. Dr. C.F.Claussen

Koreferent: Prof. Dr. W.Kley

Dekan : Prof. Dr. K.H.Wulf

Tag der Mündlichen Prüfung: 28.1.1981

UNIV.
LEIDEN
BIBL.

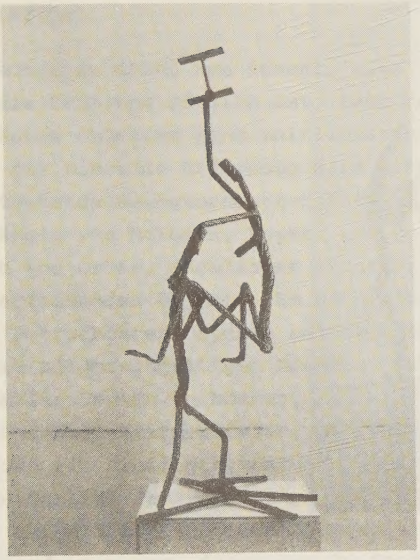
Gedruckt mit Genehmigung der Medizinischen Fakultät der
Universität Würzburg

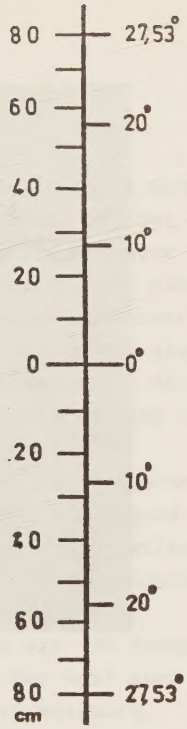
VORWORT

Die dieser Dissertation zugrunde liegenden praktischen Versuche folgen dem Schema der ersten optosensorischen Dissertation von KÖTZ aus der neurootologischen Arbeitsgruppe von CLAUSSEN. Es wurde eine differenziertere und umfangreichere Analyse- und Synthesetechnik der Augenbewegungen eingesetzt.
Diese Technik wurde von WODATSCHEK entwickelt, auf dessen Dissertation hiermit verwiesen wird.[29]
Besonderer Dank gilt Herrn SPORRER, der die Syntheseprogramme auf der EDV-Anlage im Universitäts-Rechenzentrum Würzburg ausgearbeitet hat, sowie dem Akademischen Direktor beim physikalichen Institut Würzburg, Herrn Dr. A. PRZYBYLSKI für freundliche Unterstützung bei physikalichen Exprimenten.
Das Thema dieser Arbeit wurde von Herrn Prof. Dr. C. F. CLAUSSEN im Rahmen des umfangreichen neurosensoriellen Programmes InSan I-0776-V-063 gestellt.
Er hat freundlicherweise die Anleitung, Betreuung und Diskussion der Arbeit fortlaufend vorgenommen. Die Untersuchungen wurden im neurootologischen Labor von Prof. Dr. CLAUSSEN durchgeführt.
Um dem Leser zu ermöglichen, sich selbst Eindrücke der okulären Bewegungsmuster zu verschaffen, wurden zahlreiche Original-Bilder in die Arbeit aufgenommen.

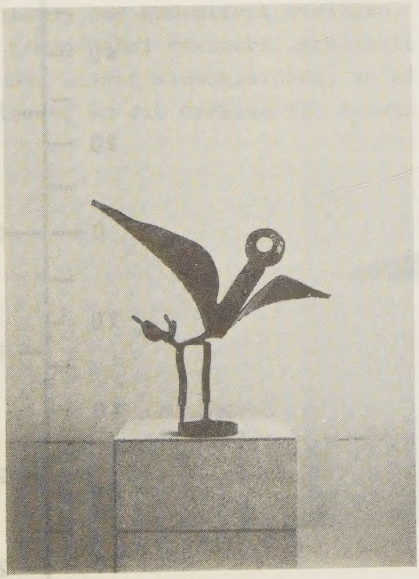
Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41543519_0002





1



2

Abb.1

3

4

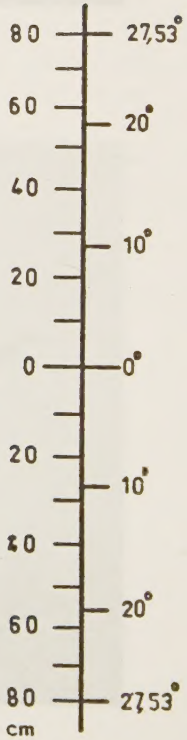


Abb.2

EINLEITUNG

Da scharfes Sehen nur foveal, also in einem Winkel von 1,3 Grad 16
um die Sehachse möglich ist, kann man davon ausgehen, daß bei größeren Objekten eine zeitliche Abfolge von Abtastbewegungen für die visuelle Erfassung eine wichtige Rolle spielt. Das dabei auftretende Bewegungsmuster ist ein komplexes Geschehen, sowohl abhängig von Motorik, Psyche und Motivation des Probanden, als auch von Größe, räumlicher Struktur und emotionalem Inhalt der zu erfassenden Objekte. Es kann also über den Betrachter wie auch die betrachteten Objekte selbst Auskunft geben.
Um zu allgemeingültigen Aussagen über die Objekte als optischen Stimulus kommen zu können, muß eine Untersuchung ein genügend großes Kollektiv erfassen, während für Studien über den Patienten selbst ein breit gestreutes Kollektiv mit Betonung der Randgruppen erforderlich ist. (Prinzip nach CLAUSSEN)
Wir haben die beiden Bedingungen erfüllt, in dem wir 150 Probanden untersuchten, von denen nur 30 Studenten waren, der Rest aber unausgesuchte stationäre Patienten der Kopfklinik Würzburg.
Die Aufzeichnung der binokulären Bewegungsmuster erfolgte elektro-okulographisch mit einem 8-Kanal ENG-Gerät der neurootologischen Abteilung der HNO-Klinik Würzburg.
Wir haben dabei versucht, Artefakte, die sich bei dieser indirekten Methode leicht einschleichen, zu eliminieren und kritisch abzuschätzen, wo die Grenzen für exakte Aussagen liegen.

METHODIK

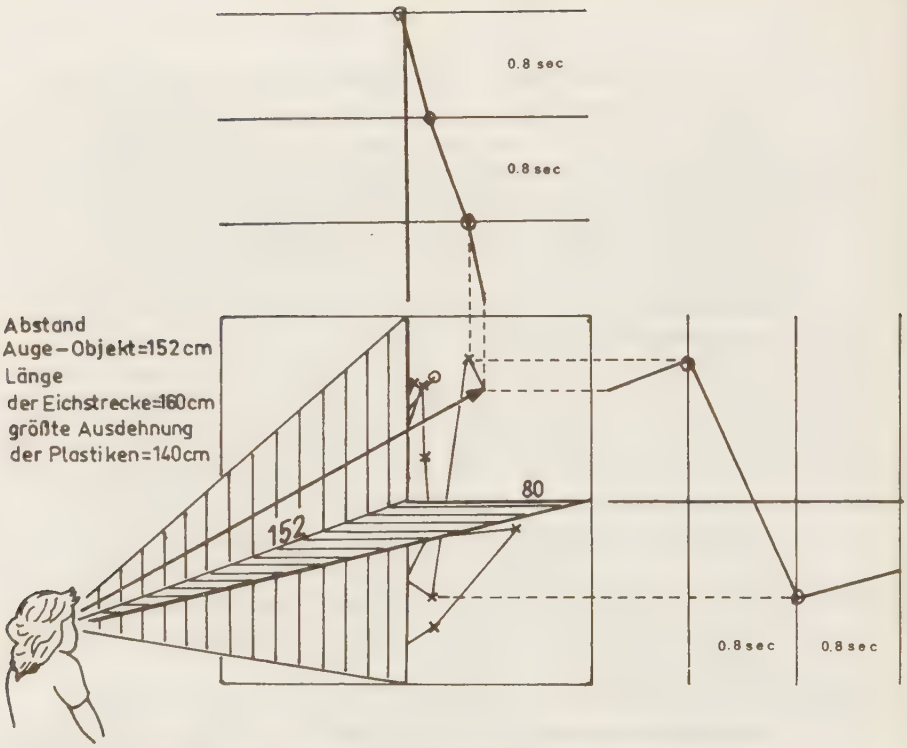
Die Retina des Auges ist mit ca. 1,5 mV negativ gegenüber der Cornea geladen. Das "Corneo-retinale Bestandspotential" ist eine ständige Potentialdifferenz zwischen der elektronegativen Netzhaut und der positiven Hornhaut, deren Quelle Stoffwechsel und die Dauererregung der retinalen Neurone bzw. Sinneszellen ist. Es ergibt sich somit ein elektrischer Dipol, der in der Längsachse des Auges liegt und die Blickrichtung bezeichnet. Er verursacht bei Bulbusbewegungen Änderungen des elektrichen Feldes im umgebenden leitenden Gewebe. Es liegt also nahe, bei Untersuchungen der Augenbewegungen zunächst elektrische Phänomene zu registrieren. Dies hat sich in seiner Durchführbarkeit als allen älteren mechanischen oder optischen Methoden überlegen erwiesen. 5 22

Das in der Elektrookulographie bereits routinemäßig verwendete Verfahren eignete sich dafür besonders, da es für den Patienten keine wesentliche Belastung darstellt und uns in der Neurootologischen Abteilung der Kopfklinik Würzburg mit einem Hellige-8-Kanal-ENG-Gerät (Simpliscriptor) und der Eye-Tracking-Vorrichtung nach CLAUSSEN das nötige Instrumentarium zur Verfügung stand.

Wir verwendeten bei unseren Versuchen sieben massive Silberstempelelektroden, die mit Spezialpflaster in den in Abb. 3 gezeigten Positionen auf der Haut gehalten wurden.

Beim Blick nach oben zum Beispiel führt eine Annäherung der vorderen, positiven Augenpole an die Elektroden 3 und 5 und Näherung der negativen Retinae an die Elektroden 1 und 7 zu einer positiven Spannung in den erstgenannten Ableitungen gegenüber einer negativen in letzteren. Bei fortlaufender Registrierung der Potentialdifferenzen an den Elektrodenpaaren 1/3, 2/4, 5/7 und 4/6 in vier verschiedenen Spuren wird es so möglich, unabhängig voneinander die Stellung beider Augenachsen und in deren Verlängerung die Position des gerade fixierten Punktes an dem vorgesetzten Objekt zu konstruieren. Wir verwendeten einen Papiervorschub von 7,5 mm/sec.

Nimmt man das corneo-retinale Potential während der Untersuchung als konstant an, - was wegen wechselnder einwirkender Lichtintensität nicht immer der Fall zu sein braucht, - dann lassen sich in den genannten vier Elektrodenpaaren Potentiale ableiten, die dem Winkel der Augenachse mit der Richtung des Geradeausblickens etwa proportional sind. 9 22
Durch eine Elektrodencreme wurden Überleitungswiderstände herabgesetzt und durch die enthaltenen hautreizenden Zusätze die Gewebeleitfähigkeit verbessert. Das Hellige-ENG-Gerät erlaubt über eine eingebaute Frequenz-Meßbrückenschaltung eine getrennte Bestimmung der Elektroden-Hautwiderstände für jede der sieben Elektroden. Wir achteten vor Versuchsbeginn auf die zur Registrierung optimalen Werte unter 10 kΩ, die anderenfalls durch nochmaliges Entfernen der Silberstempelelektroden und Reinigen der Haut mit Alkohol erreicht wurden. An den Punkten 2 und 6 (Abb. 3) waren, übereinstimmend mit anderen Untersuchungen, die Widerstände am niedrigsten. Als 25 Durchschnittswert ermittelten wir 7,6 kΩ bei einer extrem hohen Streuung.
Die Verstärkung der abgeleiteten, nur Zehntel mV großen Potentiale geschah in dem Hellige-Gerät durch AC-Vorverstärker mit einer Zeitkonstante von 1 sec., d.h. es liegt durch exponentiellen Potentialabbau eine Verzeichnung aller längeren Konstanten Eingangssignale vor. So bewirkt ein gleichbleibendes Eingangspotential nach einer Sekunde nur noch 1/e , also ca. 1/3 der ursprünglichen Ausgangshöhe des Schreibers. (Siehe Fehlerbetrachtung)
Wir haben der Aufzeichnung der Bulbusbewegungen beim Betrachten der Plastiken eine Eichung mit dem Ziel vorangestellt, für jeden Probanden individuell die Größe der abzuleitenden Potentiale in Abhängigkeit von der Stellung der Bulbi in µV/Winkelgrad zu ermitteln. Diese Größe wollen wir "spezifische Potentialdifferenz" nennen, und wir ermitteln sie für jedes Auge getrennt und jeweils gesondert für die Rotation der Bulbi um ihre horizontale und vertikale Achse. 29
Sie nahm im Mittel bei unseren Patienten folgende Werte an:



Pat.131 55.06° – Eichwinkel in horizontaler/vertikaler Ebene

Abb.4

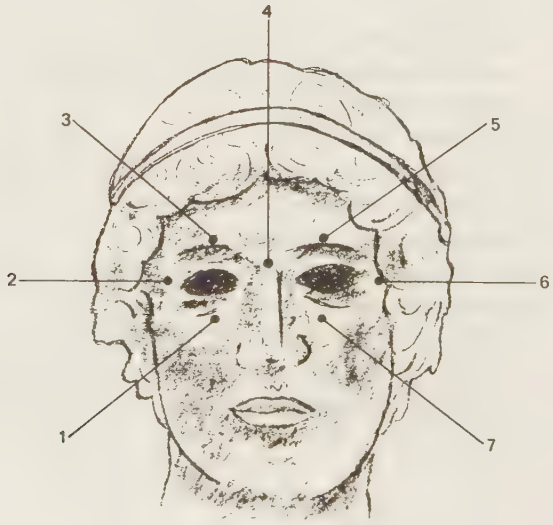


Abb.3

Rotation in der Sagittalebene	re. Auge	9,34 µV/Winkelgrad
	li. Auge	8,83 µV/Winkelgrad
Rotation in der Horizontalebene	re. Auge	7,44 µV/Winkelgrad
	li. Auge	7,20 µV/Winkelgrad

Für die Eichung erwies sich das Gerät zum eye-tracking nach CLAUSSEN als besonders geeignet. Es handelt sich dabei um einen Stab, auf dem durch in dichten Abständen angeordnete und kurz nacheinander aufleuchtende Lämpchen der Eindruck eines sich mit konstanter Geschwindigkeit bewegenden, flakkernden Lichtes erzeugt wird.

Ist das Licht an einem Ende des Stabes angelangt, beginnt es nach kurzer Pause am anderen Ende erneut in gleicher Richtung zu laufen. Wir ordneten den Leuchtstab so vor den Probanden an, daß der Lichtpunkt sich mit einer Geschwindigkeit von 16 Winkelgrad/sec. über einen Winkel von 55,06 Grad und zwar je zehnmal von oben nach unten, von links nach rechts, von unten nach oben und von rechts nach links. Bei dieser Winkelgeschwindigkeit können die Augen dem Stimulus exakt und praktisch verzögerungsfrei folgen. Außerdem erfolgt bis zu 40 Grad-Bulbusbewegungen (20 Grad Abweichung von Geradeausstellung) eine weitgehend linear-proportionale Abbildung der Augenstellung in den abzuleitenden Potentialen. 7 10 19 21

Die Probanden, die ständig geneigt waren, den Sprung des Lichtpunktes vom Ende des Stabes an den Anfang mit den Augen vorwegzunehmen, wurden ständig ermahnt, das Licht wirklich über die ganze Strecke hinweg zu verfolgen und dabei die Kopfhaltung in der Stütze nicht zu verändern. Das Vorwegnehmen des Wendezeitpunktes aufgrund einer Erwartungshaltung wurde auch beim Verfolgen eines harmonisch schwingenden Stimulus beobachtet und stellt keinen Nachteil speziell unserer Methode dar. Bezüglich ihrer Richtung definieren wir die 10 Schnittlinie der Ebenen der waagerechten und senkrechten mit den Augen abgefahrenen Winkel relativ zum Kopf des Pro-

banden als "Blick geradeaus", auch wenn sie nicht in der anatomischen Sagittalebene (verdrehter Kopf) oder Horizontalebene (gekippter Kopf) liegt.
Ihr entspricht per definitionem eine Rotation der Bulbi um O Grad und auf dem Papier ein Zeigerausschlag um O mm - entsprechend der Mittelposition zwischen Minima und Maxima der Tracking-Aufzeichnung - auch wenn dieser nicht mit dem bei Ruhestellung des Zeigers (Potentialdifferenz = O) übereinstimmt. Schließlich erscheinen dem Probanden in dieser Blickrichtung später das Zentrum jeder Plastik und sie entspricht auch der Mitte des CVG (Computer-Videogramm, siehe später). Aus verständlichen Gründen haben wir versucht, die Abweichung unserer Bezugslinie von der Richtung des anatomischen Geradeausblickens möglichst klein zu halten.
Abb. 4 zeigt einen Probanden und die horizontalen und vertikalen Eichwinkel, dazu zum Vergleich die elektrookulographischen Aufzeichnungen der Bewegungen eines Auges, die als vertikale Projektionen des Weges des Fixationspunktes (Pfeilspitze) erscheinen.
Abb. 5 zeigt die Häufigkeitsverteilung aller ermittelten spezifischen Potentialdifferenzen aller 150 Probanden, und zwar nach Bewegungsrichtung (horizontal/vertikal) und Auge (re./li.) getrennt. Die spezifischen Potentialdifferenzen sind in µV/Grad auf der unteren Skala der Abszisse aufgetragen. In der oberen Skala stehen die zugehörigen halben Zeigerausschläge bei Bulbusrotation um den Eichwinkel von 55,06 Grad in mm. Auf der Ordinate sind vier %-Skalen für die vier Häufigkeitsverteilungskurven aufgetragen und im oberen Bereich eine µV-Skala.
Es fallen deutlich die höheren spezifischen Potentialdifferenzen (µV/Grad) und Ausschläge (mm) sowie die geringere Streuung bei vertikaler Bewegung beider Augen auf.
Für die Kennlinie des Hellige-ENG-Gerätes (oberer Teil, Abb. 5) gilt die selbe Abszisse (mm). Diese Kennlinie zeigt den Zusammenhang zwischen Eingangsspannung (Ordinate, µV) und Zeigerausschlagshöhe (mm). Ein großer Teil der Zeigerausschläge beim Eichen über 55,06 Grad (vier untere Kurven)

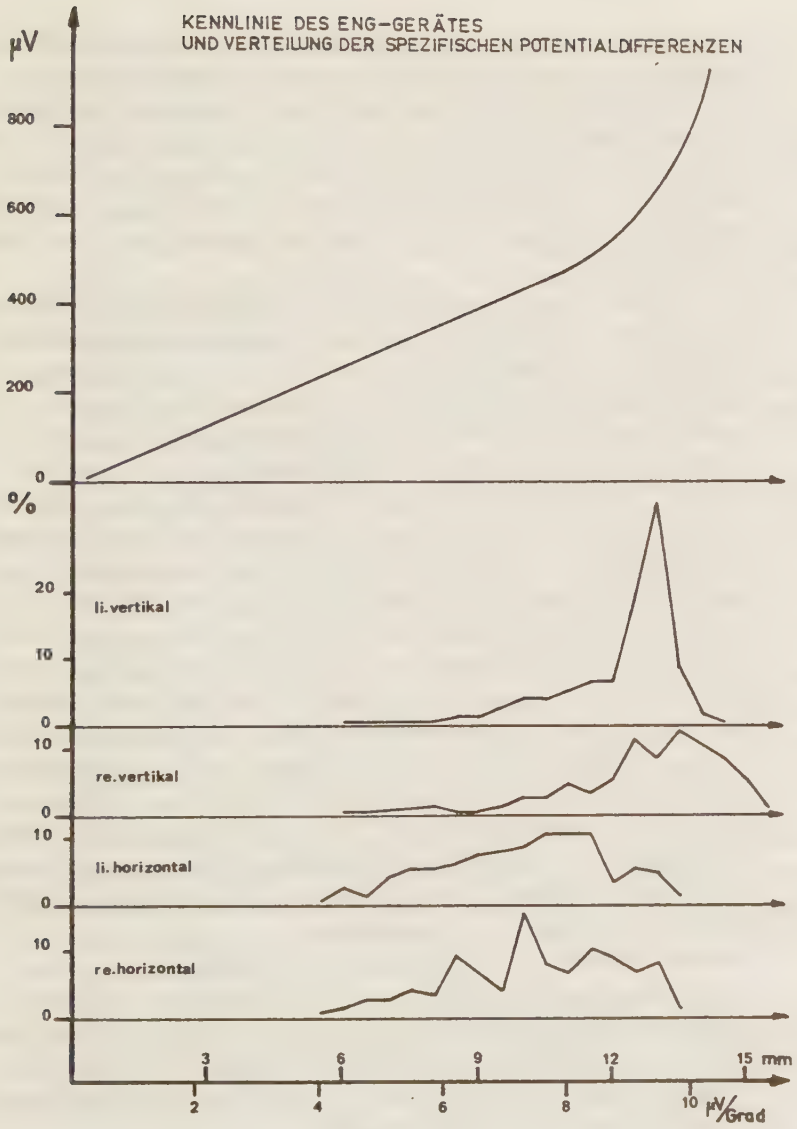

KENNLINIE DES ENG-GERÄTES
UND VERTEILUNG DER SPEZIFISCHEN POTENTIALDIFFERENZEN
µV
800
600
400
200
0
%
20
10
0
li. vertikal
10
0
re. vertikal
10
0
li. horizontal
10
0
re. horizontal
3
6
9
12
15 mm
2
4
6
8
10 µV/Grad

Abb.5

fällt in den Breich nicht mehr linearer Aufzeichnungen des Gerätes. Die Zeigerausschläge im oberen Spannungsbreich sind also zu klein. Da wir von Proportionalität zwischen Eingangsspannung und Zeigerausschlag ausgingen,erklärt sich hieraus die Abweichung unserer spezifischen Potentialdifferenz (8,20 µV/Winkelgrad als Mittel beider Augen und beider Richtungen) von dem bei CLAUSSEN angegebenen Wert von 12 µV/Winkelgrad.

Um eine für unsere Zwecke möglichst winkelgetreue Abbildung zu erreichen, konnten wir bei der erheblichen Streubreite weder eigene Mittelwerte noch den für alle Richtungen pauschal angegebenen Wert von 12 µV/Winkelgrad verwenden, sondern mußten für jede der vier aufgezeichneten Spuren eigene spezifische Potentialdifferenzen als Faktoren einführen. Damit werden alle interindividuellen Unterschiede infolge differierender corneo-retinaler Potentiale und Hautwiderstände ect., sowie unterschiedlicher Leitfähigkeiten der Haut zwischen Stirn/Wange und Nasenwurzel/Schläfe an einem Probanden ausgeglichen, soweit sie während der Untersuchung konstant bleiben. Zu kleine Zeigerausschläge, die nicht auf Variationen dieser elektrichen Phänomene beruhen, sondern auf zu kleinen Winkelbewegungen von weniger als den von uns vorausgesetzten 55,06 Grad bei motorisch gelähmten Augen oder bei unintressierten oder somnolenten Patienten, täuschen in unserem Verfahren zu kleine spezifische Potentialdifferenzen vor und führen zu systematischen Fehlern in der Auswertung. Fehlerquellen dieser Art sind für uns schlecht erkennbar und nicht zu eliminieren.

Während unserer ca. 45-minutigen Untersuchung fielen die Elektroden-Hautwiderstände an allen Elektroden um einen vernachlässigbaren Prozentsatz ab. Wir führen dies auf fortschreitende Veränderungen der Hautoberfläche während des Versuches durch die Creme sowie Schweißabsonderungen zurück. (näheres siehe Fehlerbetrachtung)

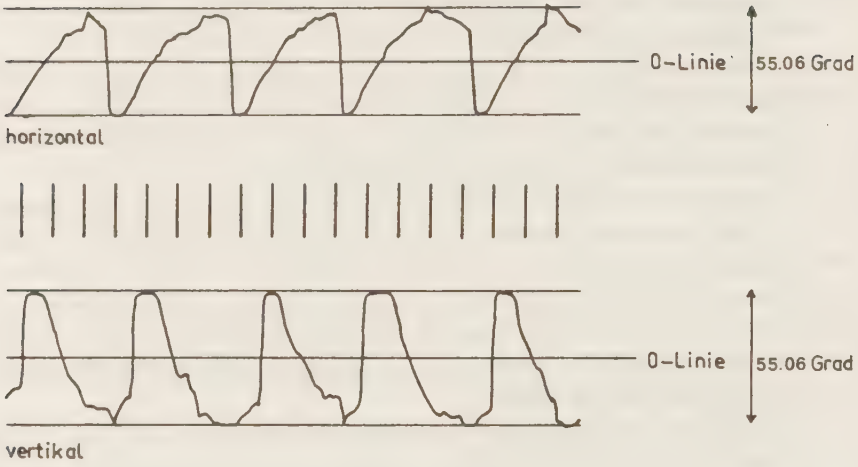
Die O-Linien haben wir auf dem Registrierpapier in die Mittelposition zwischen die beiden parallelen Hüllkurven der

Sägezahnförmigen Aufzeichnungen des beim Eichen induzierten optokinetischen Nystagmus gelegt. Abb. 6 oben, zeigt die Aufzeichnungen bei Rotation um den gleichen Winkel von 55,06 Grad. Horizontal- und Vertikalspur sind nicht simultan aufgezeichnet, sondern es handelt sich um nacheinander erfolgte Eichvorgänge. Zwischen beiden Spuren sind 0,8-sec. Zeitintervale eingezeichnet. Das Verfolgen einer linearen Bewegung konstanter Geschwindigkeit wird nicht in exakten Dreiecken abgebildet. Wir führen dies auf die arc-tan Beziehung zwischen Strecke und Bulbus-Winkel (der ja aufgezeichnet wird) sowie auf die oben erwähnte Nicht-Linearität der Zeigerausschläge in höheren Spannungsbreichen zurück. (Näheres siehe Fehlerbetrachtung)

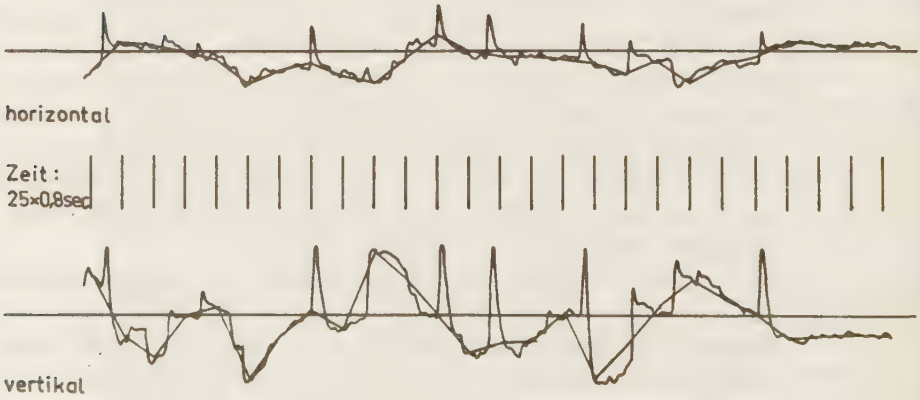
Wenn die Abstände der Mittellinien vom Papierrand bei Eichung des Blickes von oben nach unten bzw.von rechts nach links und die der Gegenrichtung nicht übereinstimmten, wurde der Mittelwert für die jeweilige O-Linie angenommen. Ebenso verfuhren wir, wenn Differenzen in den Amplituden der Nystagmus-Signale bestanden. Wie erwartet, waren aber Abweichungen stets sehr niedrig; sie überschritten nie 10% der Amplituden und lagen bei der Position der O-Linien immer unter 1 mm, entsprechend weniger als 2,5 Winkelgrad (Die Konstanz der O-Linienposition ist durch die Eigenschaften des Verwendeten AC-Verstärkers [14] [17] bedingt). Die Unterschiede der elektrischen Amplituden von horizontaler und vertikaler Spur eines Auges sind hingegen erheblich (siehe die breite Streuung der spezifichen Potentialdifferenzen in Abb. 5). Ebenso differiert die Höhe der Dreieckssignale zwischen rechtem und linkem Auge eines und desselben Probanden oft beträchlich.

Wir haben noch einige Versuche durchgeführt, um die Präzision unserer elektro-oculographischen Methode und damit den Aussagewert unserer Ergebnisse genau abschätzen zu können und eventuell zu verbessern. Dazu gehörten Untersuchungen in einem Modell, wie es zur Analyse komplizierter elektrischer Felder benutzt wird. In diesem Modell haben wir einen Horizontalschnitt durch den Kopf in Höhe der Augenbulbi nachge-

OPTOKINETISCHER NYSTAGMUS –EICHEN–



EOG – GLÄTTEN, ELIMINIEREN VON ARTEFAKTEN



Pat.140-5-L

Abb.6

bildet. Abweichend von den wirklichen Ableitungen war der Kopf im Modell ein homogener, zweidimensionaler elektrischer Leiter. Wir verwendeten ein elektrisch leitendes Papier (Pasco scientific), das in die Form des Kopf-Querschnittes gebracht wurde und zeichneten maßstabgerecht die beiden Bulbi mit Filzstift als Kreise ein. Vier Elektroden wurden im Abstand der Kreisdurchmesser zu zwei Paaren montiert, die dann auf den Kreisen aufgesetzt wurden und den Bulbus-Dipol in jeder beliebigen Winkelstellung imitierten. Die Potentialänderungen an den 3 den waagerechten EOG-Ableitpositionen entsprechenden Stellen wurden über massive Elektroden abgeleitet, die fest auf das Papier gedrückt waren (Abb. 7). Die gemessenen Spannungen wurden in Abhängigkeit vom Dipolwinkel und vom Verhältnis der beiden Dipolstärken zueinander aufgetragen und mit den optischen Eichnystagmen unserer Probanden verglichen.

Da wir den Verdacht hatten, daß in den Aufzeichnungen erhebliche Artefakte bei mindestens 65% der Patienten auftraten, haben wir bei fünf helläugigen, kooperativen Probanden neben der elektrischen Aufzeichnung auch noch die Augenbulbi bei den beschriebenen Blickfolgebewegungen gefilmt und die Bewegungen durch Einzelbildanalyse der Filme auf 5,5 Winkelgrad genau rekonstruiert.

Schließlich haben wir noch die Positionen der 3 Horizontalelektroden bei fünf Probanden variiert und die Aufzeichnungen der vertikalen Blickfolgebewegungen vor und nach Veränderung der Elektrodenpositionen verglichen (Abb. 8).

Die Existenz und die Ursache der Artefakte konnten nachgewiesen werden und wir berücksichtigten dies bei der Auswertung der Ergebnisse.

Da die Artefakte bei beiden Augen symmetrisch, gegenschlägig und synchron auftraten, konnten wir sie durch Mittelwertsbildung der Ausschlagshöhen beider Augen eliminieren (siehe Kombinations-CVG's).

Nach dem Eichen haben wir bei jedem Probanden die Frequenz und Richtung des spontanen Nystagmus bei geschlossenen und

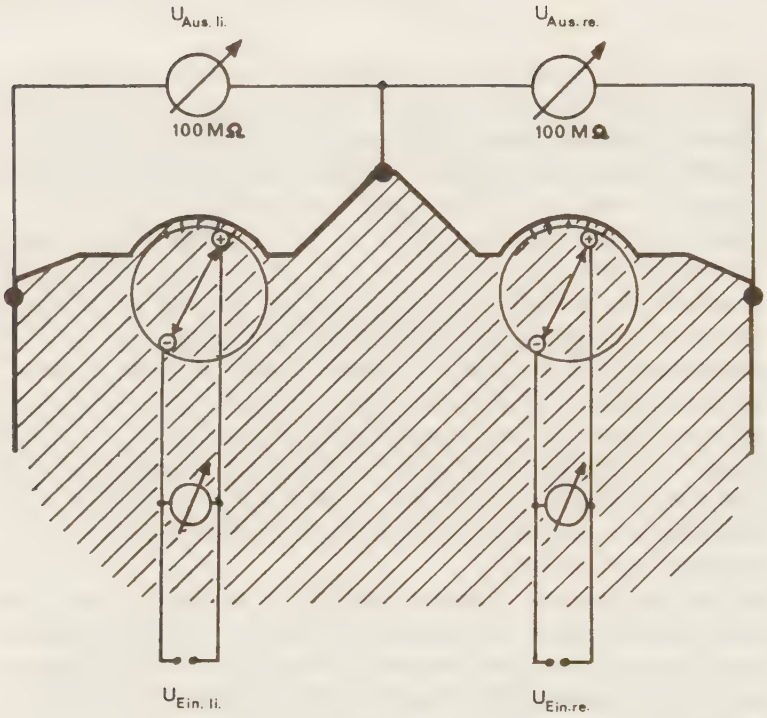


Abb. 7

Einflusse der nasalen und temporalen Elektrodenlagen auf das vertikale EOG

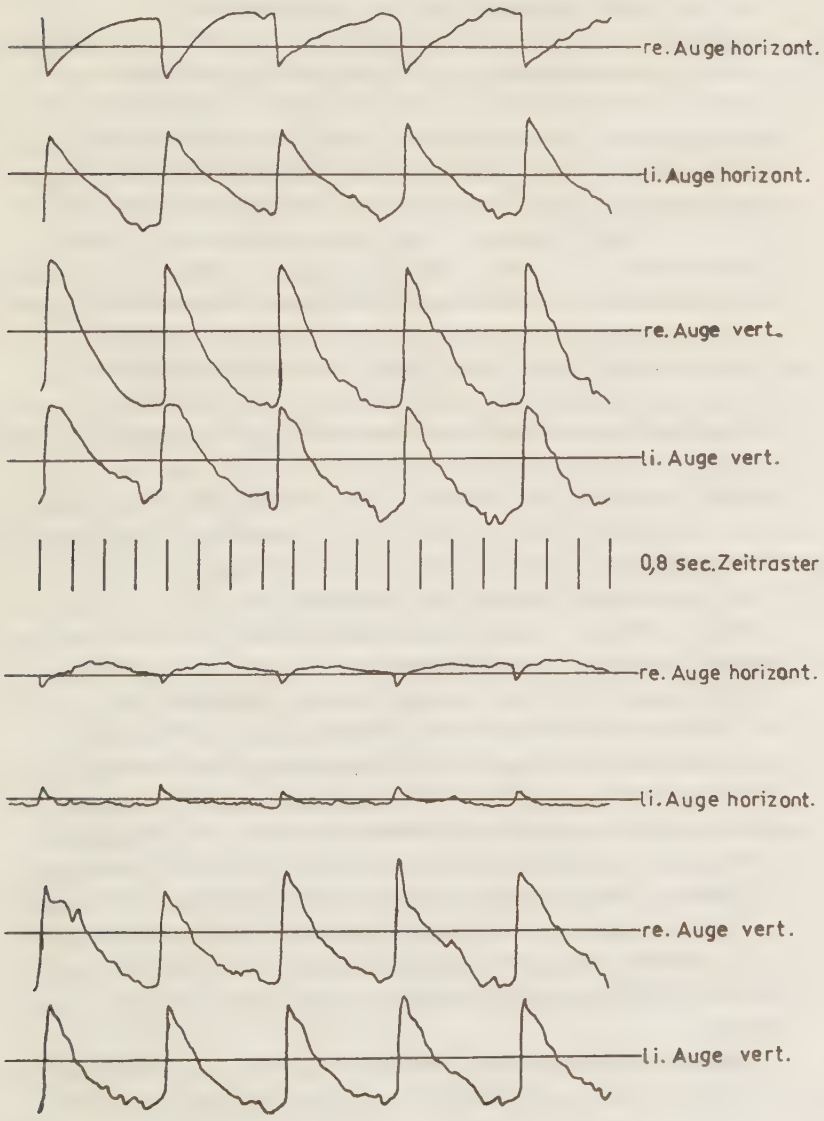


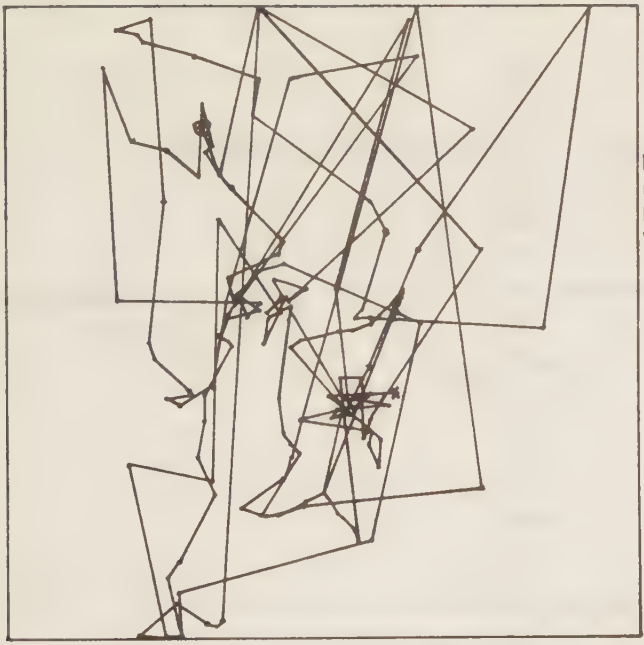
Abb. 8

geöffneten Augen ermittelt. Anschließend haben wir den Probanden vier Stahlplastiken von CLAUSSEN vorgezeigt. Die Fotos in Abb.1,2 zeigen die Figuren aus dem Blickwinkel des Patienten; zum Vergleich daneben eine Winkelgrad-Skala.
Die Plastiken boten sich uns als Stimulus für die Untersuchung okulärer Bewegungsmuster beim Betrachten von dreidimensionalen Objekten an. Die Auswahl der zu fixierenden Stellen und ihrer Verschiebungen wurde unter unseren Versuchsbedingungen vom Probanden selbst getroffen und war von der Motivation bestimmt, die Plastik zunächst zu erkennen. Besonders die Plastiken 1 und 3 setzten dem sofortigen Erfassen einige Schwierigkeiten entgegen. Nach dem Erkennen von menschlichen Gestalten mußte deren zunächst statisch unwahrscheinlich wirkende Stellung, und schließlich das Material, das diese ermöglicht, überprüft werden. Dies alles erforderte ein vielfaches Abtasten bestimmter Strukturen. Zum Vergleich ließen wir zwei mehr flächenhafte Plastike (Fig. 2 und Fig. 4) mit ruhigeren Konturen betrachten, davon Plastik 4 mit rätselhaften Kopf, was die Probanden, wie sich später herausstellte, auch emotional stark ansprach. Plastik 2 und 3 wurden jeweils zweimal gezeigt; Figur 2 einfach und nach Drehen des Probanden gegen den Uhrzeigersinn und Figur 3 einfach und nach Drehung im Uhrzeigersinn. Dabei wurde mit 3 Winkelgrad/sec^2 bis auf 30 Grad/sec. beschleunigt, die Abbremsung erfolgte schlagartig.
Die Probanden wurden vor der Untersuchung auf eine abschließende Befragung nach den erkannten Details und dem vermeintlichen Sinn der Plastiken vorbereitet, um auch die weniger Interessierten unter ihnen zu einem genauen Betrachten zu motivieren. Die Zeit betrug je 20 Sekunden; Anfang und Ende wurden durch die Aufforderung, die Augen zu öffnen bzw. zu schließen, gegeben. Schließlich haben wir die Versuchspersonen formlos über die Plastiken befragt, wobei sie die Eindrücke aus dem Gedächtnis reproduzieren mußten.
In den 6 verschiedenen je 20 Sekunden langen Aufzeichnungen der Abtastbewegungen der Augen (Fig. 1, 2, ②, 3, ③, 4),

bestehend aus je vier Spuren (R ↕ ,L ↕ ,R↔,L↔) haben wir dann die Bezugslinien in den beim Eichen ermittelten Positionen eingezeichnet. Um die so gewonnenen okulären Bewegungsmuster in Form von Zahlen wieterzuverarbeiten, war es nötig, die kontinuierliche Aufzeichnung zu zerhacken. Zwar könnte man die Bewegungen beider Augen direkt auf einem Oszillographen aufzeichnen und dann auf Polaroid-Fotos fixieren, doch haben wir uns wegen der Unmöglichkeit, Artefakte herauszufiltern (z.B. Lidschlußbewegungen) und Kombinationsbilder mehrerer Probanden zu bilden, dafür entschieden, jede Kurve digital zunächst in Zahlenreihen abzubilden. Aus diesen konnten wir dann Kurvenzüge zeichnen, die sich annähernd mit dem auf eine Frontalebene projezierten, zurückgelegten Weg des Fixationspunktes decken (Die Plastiken haben eine Tiefe von ca. 50 cm). Dabei wurden Zahlenpaare aus je einem Meßwert aus einer Horizontal- und dem zeitgleichen Wert aus der entsprechenden Vertikalspur als Kartesische Koordinaten benutzt. Die EOG's (Elektro-Okulogramme) wurden bei einer Papiergeschwindigkeit von 7,5 mm/sec. geschrieben, bei der das Auflösungsvermögen für unsere Zwecke ausreichend war. Wir haben die Abweichung der Kurven von der O-Linie in Abständen von 0,8 sec. ausgemessen, d.h. den Kurvenverlauf durch 26 Werte charakterisiert. Kürzere Ausschläge zwischen zwei Meßpunkten blieben unberücksichtigt, soweit ihre Frequenz über 1,5 Hz lag; Abweichungen des Orginals von der "geglätteten" Kurve wurden aber minimal gehalten. Abb. 6 unten zeigt die simultanen Aufzeichnungen der Horizontal- und Vertikalbewegungen eines linken Auges beim Betrachten von Plastik 3. Zwischen beiden Spuren das 0,8-sec. Zeitraster. Zum Vergleich die geglätteten Kurvenzüge wie sie in unseren Zahlentabellen abgebildet wurden. Das Glätten ermöglicht es, Artefakte wie die hohen Ausschläge durch "blinks" zu eliminieren.

Der Informationsverlust durch das grobe Zeitraster ist insofern sogar erwünscht, als dabei die physiologischen, hoch-

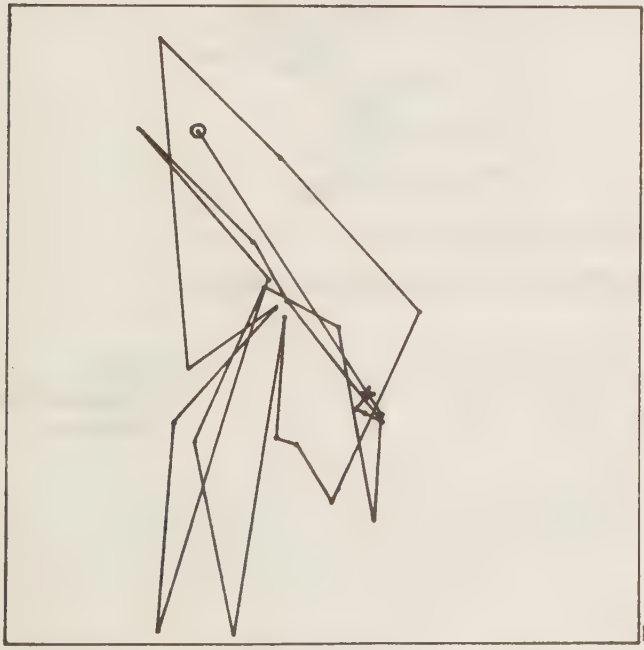
frequenten Sakkaden von nur wenigen Winkelgrad herausfallen, die vor allem in den Fixationsperioden auftreten und nur stationäre Netzhautbilder verhindern sollen. Sie sind als 16 unwillkürliche Erscheinungen unerwünscht und würden die Übersichtlichkeit der Aufzeichnungen verringern.
Die Abbildung 6 zeigt den Unterschied zwischen Orginalkurve und geglätteter Kurve. Die Abbildung 9 zeigt den Unterschied der okulären Bewegungsmuster, synthetisiert aus Werten in Zeitabständen von 0,13 sec. (oben) und 0,8 sec. (unten). In dem Bild mit dem feineren Zeitraster wurden die "blinks" nicht eliminiert. Der Abb. 9 liegt das Okulogramm aus Abb.6 zugrunde.
Nachdem die Elektro-Okulogramme (EOG) aller Probanden in der beschriebenen Weise ausgemessen waren, haben wir alle Werte, sowie sämtliche spezifischen Potentialdifferenzen im Rechenzentrum Würzburg auf Magnetplatten gespeichert. Die Datei umfaßt immerhin über 94 000 Werte. Der Plotter der Rechenanlage übernahm dann das Zeichnen der Punkte und ihrer Verbindungslinien aus den simultanen vertikal/horizontal--Wertepaaren. Alle Werte (mm) wurden in abgegriffene Spannungen (µV) umgerechnet und mit dem Reziprokwert der zugehörigen spezifischen Potentialdifferenz (Grad/µV) multpliziert, um Winkelgrad zu erhalten, nach denen dann gezeichnet wurde. Ein mit dem Auge abgefahrenes Quadrat wird jetzt bei jeder Person wirklich als Quadrat und nicht als Rechteck abgebildet. Wir haben die Zeichnungen Computer-Videogramme (CVG) genannt. Alle Längen im CVG sind Winkelgrad Augenbewegung proportional. Jeder einem Wertepaar entsprechende Punkt ist durch ein Kreuz markiert und mit jedem folgenden durch eine gerade Linie verbunden, deren Länge der Winkelgeschwindigkeit des Auges proportional ist. Zum Vergleich wurde ein Quadrat eingezeichnet, dessen Seitenlänge den beim Eichen abgefahrenen 55,06 Grad entspricht. Abb. 10 zeigt die Größenverhältnisse im CVG, dazu maßstabgerecht Plastik 2 zum Vergleich im 4. Quadranten (dies entspricht nicht ihrer Position beim Betrachten). Die Winkelgradskala ist linear,



Aufzeichnung über
20 sec., 150 Meßwerte
Zeitraster 0,13 sec.

Blinks (große Dreiecke)
nicht eliminiert.
Lange Strecken, hohe
Winkelgeschwindigkeit

Pat.104-5-L



Aufzeichnung über
20 sec., 26 Meßwerte
Zeitraster 0,8 sec.

Pat.104-5-L Abb.9

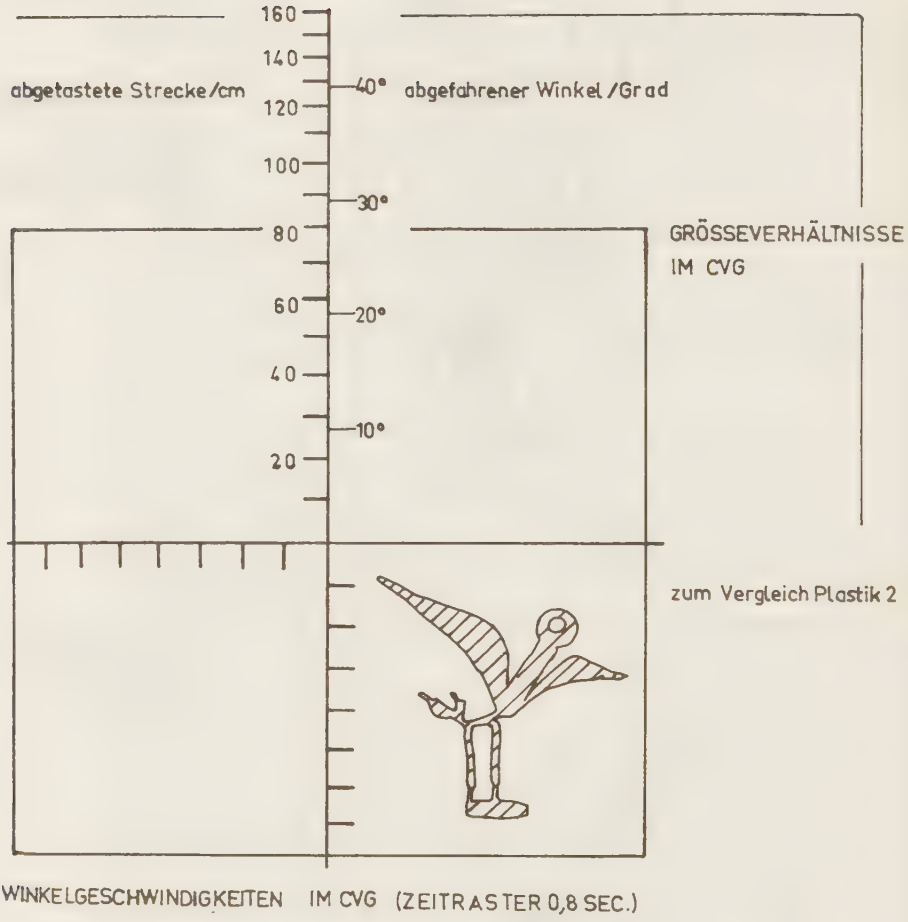

160
140
120
100
80
60
40
20
abgetastete Strecke/cm
40°
30°
20°
10°
abgefahrener Winkel /Grad
GRÖSSEVERHÄLTNISSE
IM CVG
zum Vergleich Plastik 2
WINKELGESCHWINDIGKEITEN IM CVG (ZEITRASTER 0,8 SEC.)
Strecke
0
10
20
30
40
50
60
Winkelgeschwindigkeit
in Grad/sec.

Abb.10

DAS PROBANDENKOLLEKTIV :

Es wurden 30 "Normalpersonen" (hauptsächlich Studenten der Universität Würzburg) und 120 unausgesuchte, gehfähige Patienten der neurologischen, neurochirurgischen und HNO - Abteilung der Kopfklinik der Universität Würzburg untersucht. Im Folgenden wird die Verteilung verschiedener Parameter innerhalb dieses aus Gesunden und Kranken gemischten Gesamtkollektivs dargestellt.

ALTERSVERTEILUNG (150 Pat.,Würzburg 1978)

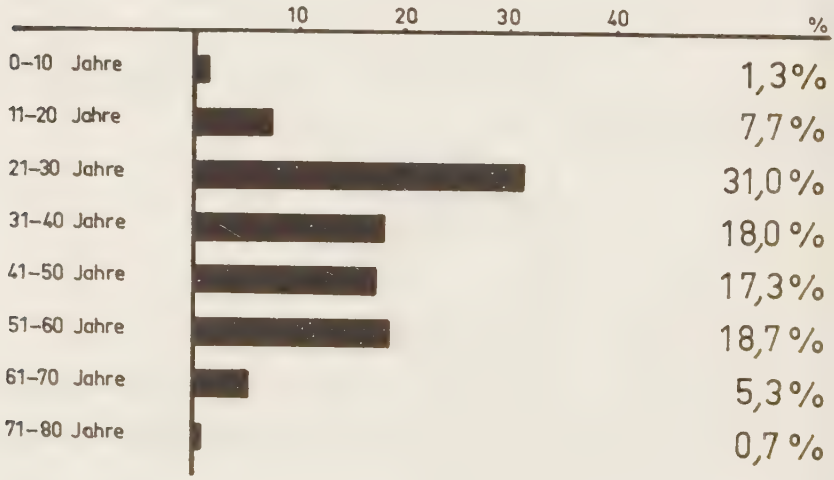


Abb.11

Alter der Probanden: Das Alter bewegte sich zwischen 8 und 75 Jahren mit einem mittleren Alter von 38 Jahren (Abb.11).

GESCHLECHTSVERTEILUNG (150 Pat., Würzburg 1978)

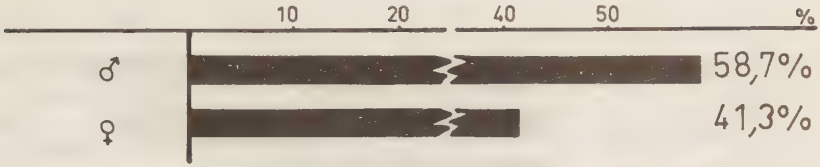


Abb.12

Geschlechtsverteilung: Von den 150 Probanden waren 58,67% männlichen und 41,33% weiblichen Geschlechts (Abb. 12).

Anamnestisch bekannte Erkrankungen:
Die Befragung der Probanden erfolgte mittels des speziellen neurootologischen Anamnesebogens NODEC III nach CLAUSSEN. Bei den Grundleiden ist zu beachten, daß einzelne Patienten nicht nur eines, sondern mehrere der von uns erfragten Grundleiden vorzeigen, so daß die Summe aller prozentualen Anteile 100% überschreiten kann.
Es führen die neurologischen Leiden mit 44,67% vor Herz--Kreislaufleiden mit 40,67%. Es folgen otologische Leiden mit 27,33%, Zustand nach Kopf-Hals-Trauma mit 19,33%, Diabetes mellitus mit 6% und Nieren-Leiden mit 5,33%(Abb. 13).

Cardio-Vaskulopathien: 21,33% der 150 Probanden gaben an, unter Hypotonus, 12,67% unter Hypertonus, 8,67% unter Herzinsuffizienz und 4,67% unter Arteriosklerose zu leiden. Unter Hypotonus und Herzinsuffizienz bzw. unter Hypertonus und Herzinsuffizienz zu leiden, gaben jeweils 2,67% der Probanden an. Einen Herzinfarkt hatten 2% der Probanden hinter sich, ein Hypertonus kombiniert mit Arteriosklerose lag bei 1,33% vor. 61,33% konnten keine näheren Angaben machen (Abb. 14).

GRUNDLEIDEN (150 Pat., Würzburg 1978)

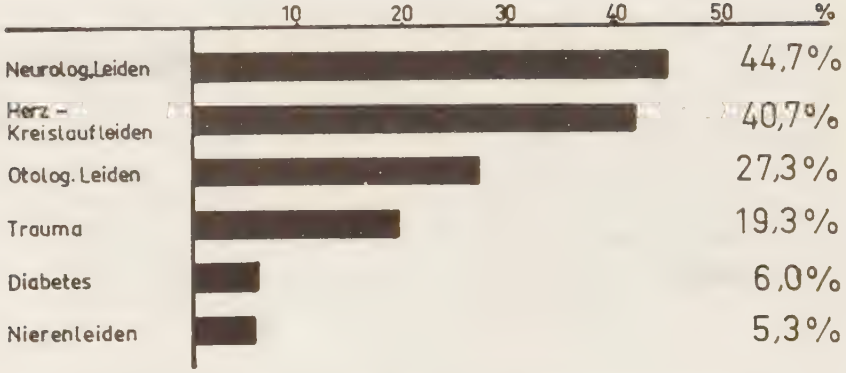


Abb. 13

KREISLAUFLEIDEN

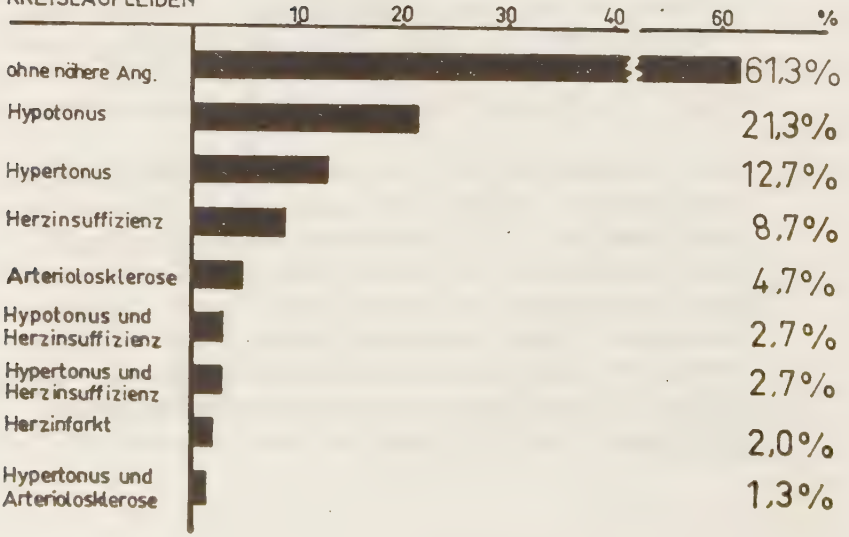


Abb. 14

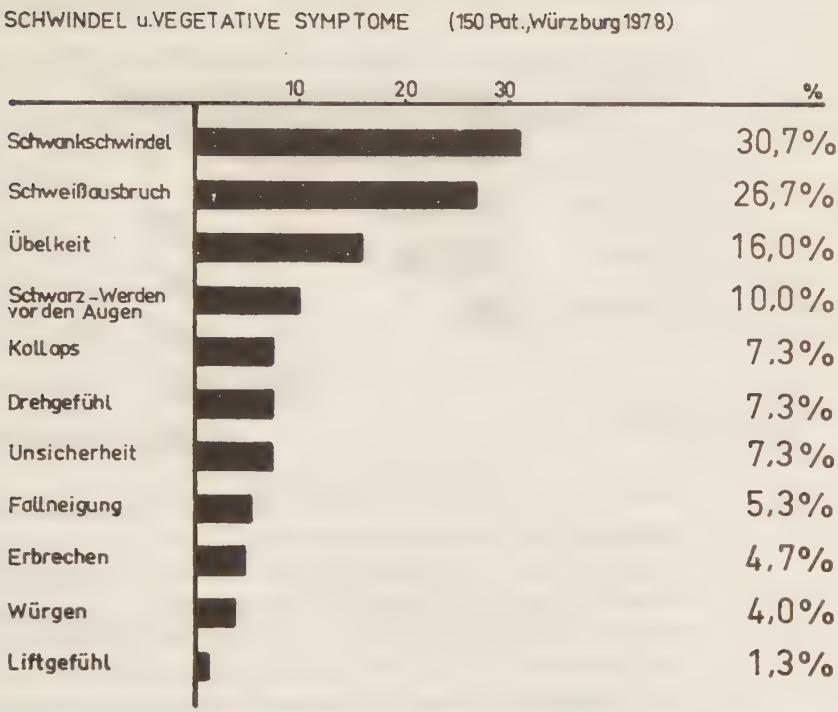


Abb.15

Die Probanden wurden ebenfalls hinsichtlich der gleichgewichtsspezifischen und vegetativen Symptome befragt. Über Schwankschwindel klagten über 30% der Probanden, gefolgt wird dies von Schweißausbruch mit 26,67%, Übelkeit mit 16%, Schwarz-werden-vor-Augen mit 10%. Die Häufigkeit von Kollaps, Drehgefühl und Unsicherheit lag zu gleichen Teilen jeweils bei 7,33%. Am seltensten waren Fallneigung mit 5,33%, Erbrechen mit 4,67%, Würgen mit 4% und Liftgefühl mit 1,33% (Abb.15).

SCHWINDELAUSLÖSUNG DURCH: (150 Pat., Würzburg 1978)

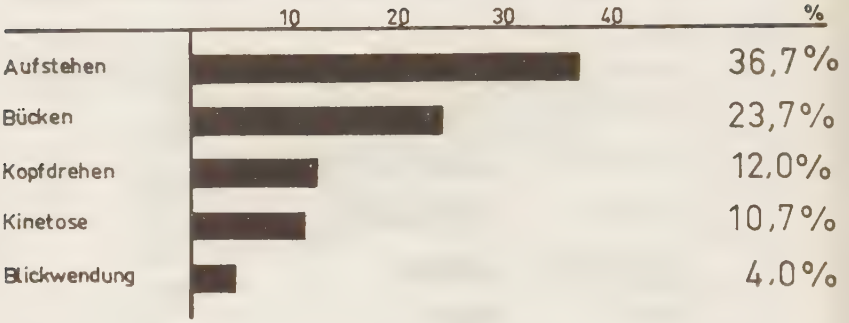


Abb.16

Schwindelauslösung: Die Häufigkeiten der Auslösung des Schwindels bei den Probanden wurde in folgender Reihenfolge angegeben: Schwindelanfälle konnten bei 36,67% der Probanden durch Aufstehen ausgelöst werden, an zweiter Stelle seht Bücken mit 23,67%. Es folgten Kopfdrehen mit 12%, Kinetose mit 10,67% und Blickwendung mit 4%. 12,99% der Probanden konnten keine näheren Angaben machen (Abb.16).

Dauer der Beschwerden: Auf die Frage, seit wann der Patient unter Schwindel leide, antworteten 2,67% der Probanden, daß das Leiden seit Tagen bestünde, seit Wochen bzw. Monaten jeweils 4,67%, 16% seit Jahren und 7,33% seit Jahrzehnten. 66% der Probanden konnten keine näheren Angaben machen (Abb.17).

Dauer des einzelnen Anfalls: Hinsichtlich des einzelnen Schwindelanfalls berichteten 28%, daß der Schwindelanfall nur 1 bis 2 Sekunden, 6,67% Minuten, 3,33% Stunden dauere. Nur eine Person klagte über langdauernden gleichmäßigen Verlauf des Schwindels. 64,67% der Probanden machten keine näheren Angaben (Abb.18).

DAUER DER BESCHWERDEN (150 Pat., Würzburg 1978)

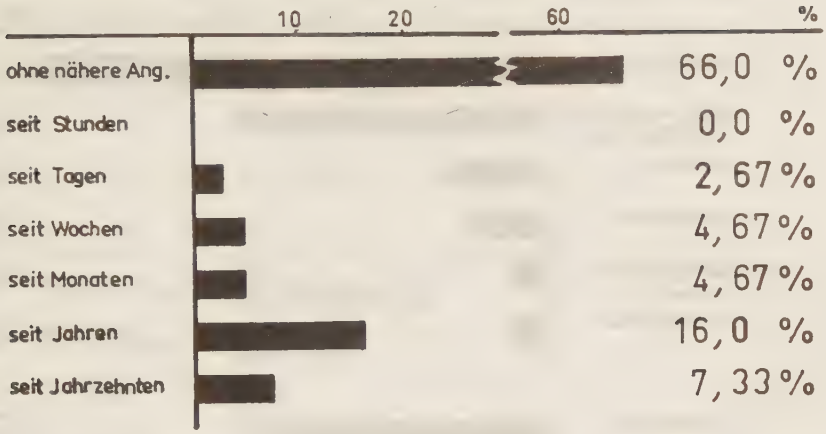


Abb.17

DAUER DES EINZELNEN ANFALLS (150 Pat., Würzburg 1978)

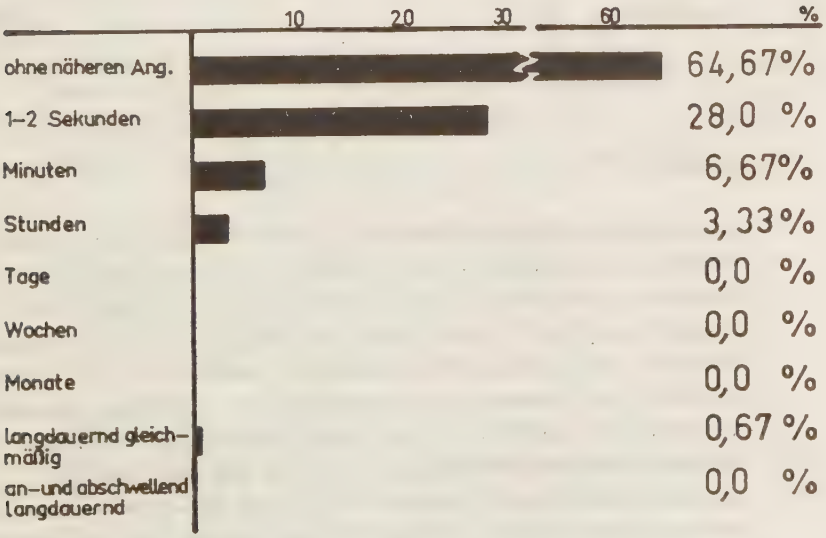


Abb.18

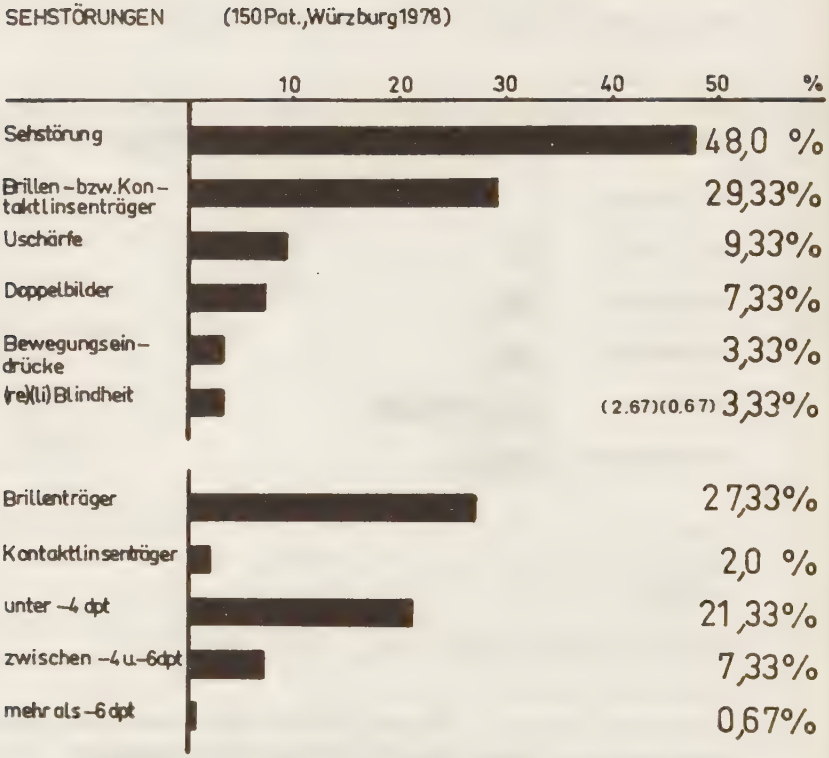


Abb.19

Sehstörungen: Da das Sehen bei unseren Experimenten eine übergeordnete Rolle spielt, werden die Sehstörungen ausführlicher behandelt. Im gesamten Kollektiv wiesen 48% Sehstörungen auf, davon waren 29,33% Brillen-(27,33%) bzw. Kontaktlinsenträger (2%). Unschärfe gaben 9,33% an, Doppelbilder 7,33%, Bewegungseindrücke 3,33%. 3,33% der Probanden waren blind, davon 2,67% auf dem rechten Auge und ein Proband auf dem linken Auge. 21,33% der Brillen- bzw. Kontaktlinsenträger trugen Gläser, die schwächer als -4 dpt. waren, 7,33% Gläser zwischen -4 und -6 dpt. und ein Patient Gläser, die mehr als -6 dpt. waren (-13 dpt.) (Abb. 19).

Die meisten Patienten mit hoher Kurzsichtigkeit waren Brillenträger und durch das Abnehmen der Gläser während der Versuche stark behindert.

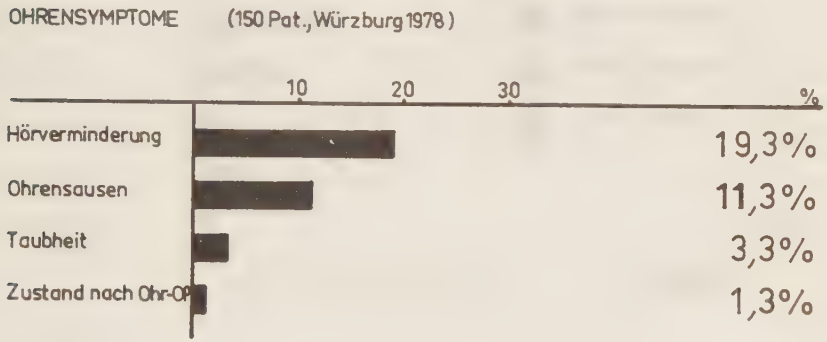


Abb.20

Ohrensymptome: Von den Probanden berichteten 19,33% über Hörverminderung, 11,33% über Tinnitus (Rauschen, Brummen, Pfeifen, Zischen), 3,33% über Taubheit. Ein Zustand nach Ohroperation lag bei zwei Probanden vor (Abb.20).

Sonstige Hirnnerven: Als Antwort auf die Frage nach weiteren Störungen im Bereich der Kopfsinne bzw. Hirnnerven gaben 6% der Probanden Geruchsstörungen an, jeweils 2,67% Geschmacksstörungen bzw. Trigeminuszeichen. Eine Facialisparese war bei 2% vorhanden (Abb.21).

Pharmaka oder Genußmittel: Die Probanden wurden nach dem Konsum von Genußmitteln und von Pharmaka gefragt. Die Frage nach Coffeingenuß bejahten 76%, nach Alkoholgenuß 75,33%, nach Nikotin 37,33%. Von unserem Kollektiv nahmen 8,67% Sedativa, 4% Salicylate, 3,33% Kontrazeptiva und 23,33% sonstige Pharmaka ein. Ein Patient bekam Streptomycin (Abb.22).

SONSTIGE HIRNNERVEN (150 Pat., Würzburg 1978)

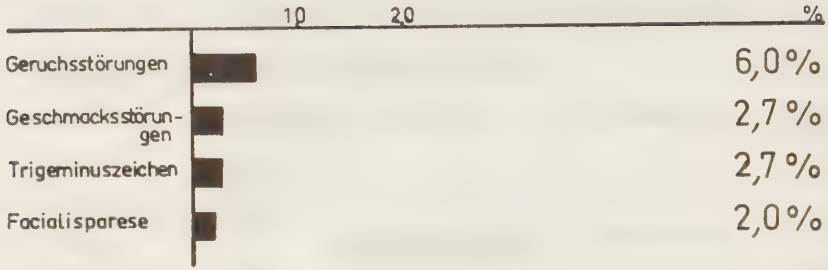


Abb.21

PHARMAKA ODER GENUSSMITTEL (150 Pat., Würzburg 1978)

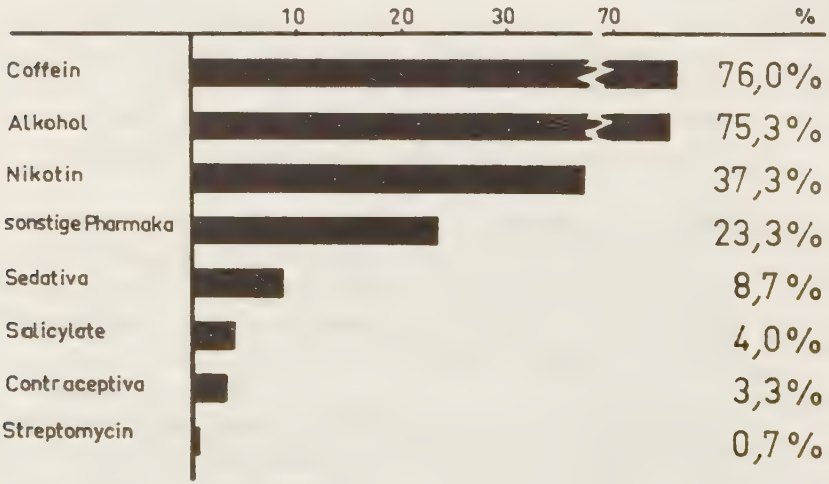


Abb.22

SYMPTOM-AKKUMULATION (150 Pat.,Würzburg1978)

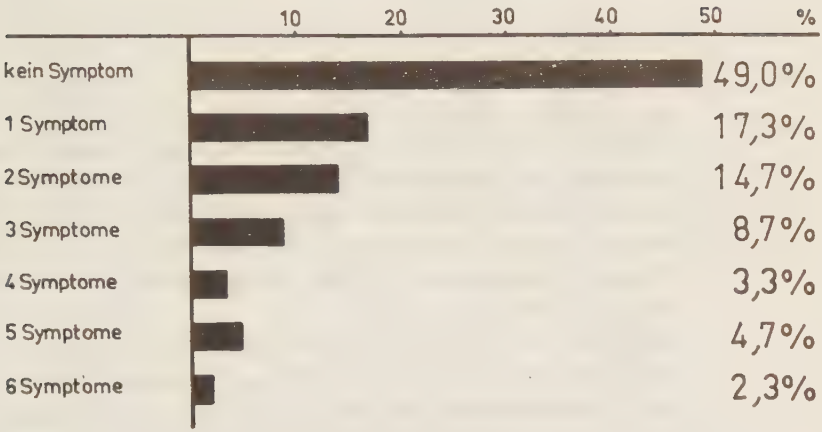


Abb.23

Symptom-Akkumulation: Von den zehn Vertigo-Nausea-Symptomen (1.Schwankschwindel, 2.Liftgefühl, 3.Fallneigung, 4.Drehgefühl, 5.Schwarz-werden-vor-Augen, 6.Unsicherheit, 7.Schweißausbruch, 8.Übelkeit, 9.Erbrechen, 10.Kollaps) wurden häufig mehr als eines bei einem Probanden angetroffen. Abb.23 zeigt, wieviele wie häufig gemeinsam auftraten.

ERGEBNISSE :

Im Folgenden wollen wir zunächst die allgemeingültigen Aussagen zusammentragen, die wir aufgrund unserer Untersuchungen über Augenbewegungen beim Betrachten dreidimensionaler Objekte treffen können. Erst anschließend sollen anhand kasuistischer Ergebnisse durch Vergleich mit den gefundenen allgemeinen Prinzipien Schlüsse über Patienten gezogen werden.
Betrachten wir zunächst die CVGs des rechten und linken Auges. Sie zeigen aus der Sicht des Probanden den in 20 sec. zurückgelegten Weg des Fixationsareals, welches wegen der kleinen Ausdehnung von zwei Grad als punktförmig angenommen wird. Da alle Meßpunkte gleiche zeitliche Abstände haben, sind die Längen aller Verbindungslinien zwischen zwei Punkten der durchschnittlichen Winkelgeschwindigkeit des Auges in dem entsprechenden Zeitintervall proportional. Abb. 24 bis Abb. 28 zeigen typische CVGs bei Betrachten der vier Plastiken. Es fällt auf, daß weder rechtes noch linkes Auge den Konturen der Plastiken exakt folgen, sondern sogar sehr häufig Flächenareale außerhalb der Figur abfahren.
Da wir in rechter und linker Horizontalspur symmetrisch-gegenschlägige Artefakte nachweisen konnten, haben wir Kombinations-CVGs beider Augen plotten lassen, deren 26 Punkte aus den Mittelwerten der zeitgleichen Koordinaten der einzelnen CVGs konstruiert wurden. Unser Kombinations-CVG zeigt also die Rotation eines fiktiven Mittelauges, das sich so verhält, als habe es keine eigenen Motoren und sei mit seinem vorderen Pol in der Mitte eines Gummibandes befestigt, das zwischen den vorderen Polen beider Augen gespannt ist. Nicht nur die tatsächlichen kleinen Divergenz- und Konvergenzbewegungen bei Nah/Fern-Einstellungen der Augachsen werden im Zyklopenauge der Kombinations-CVGs nicht abge-

PLASTIK 1 – REPRÄSENTATIVE C V G's

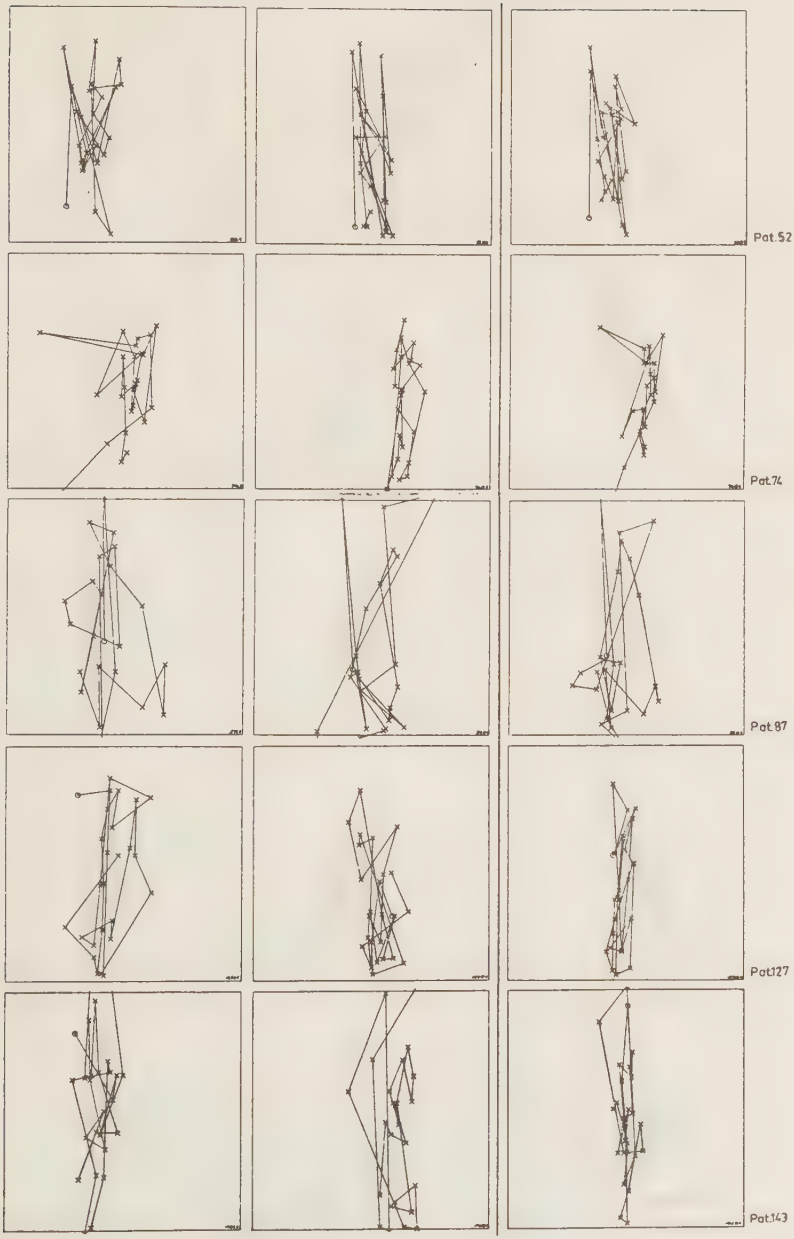


Abb.24

PLASTIK1 – REPRÄSENTATIVE C V G's

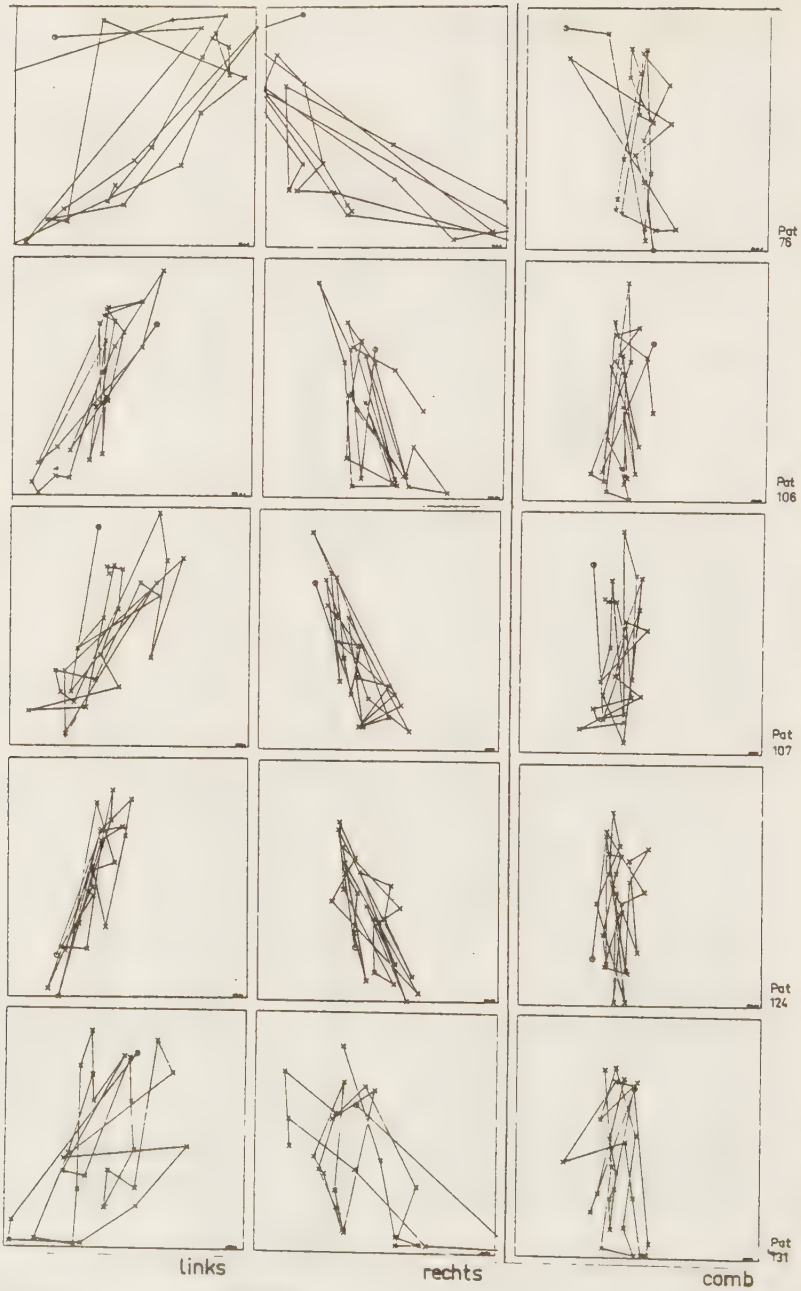


Abb. 25

PLASTIK 2—REPRÄSENTATIVE CVG's

Abb.26

PLASTIK 3 –REPRÄSENTATIVE C V G's

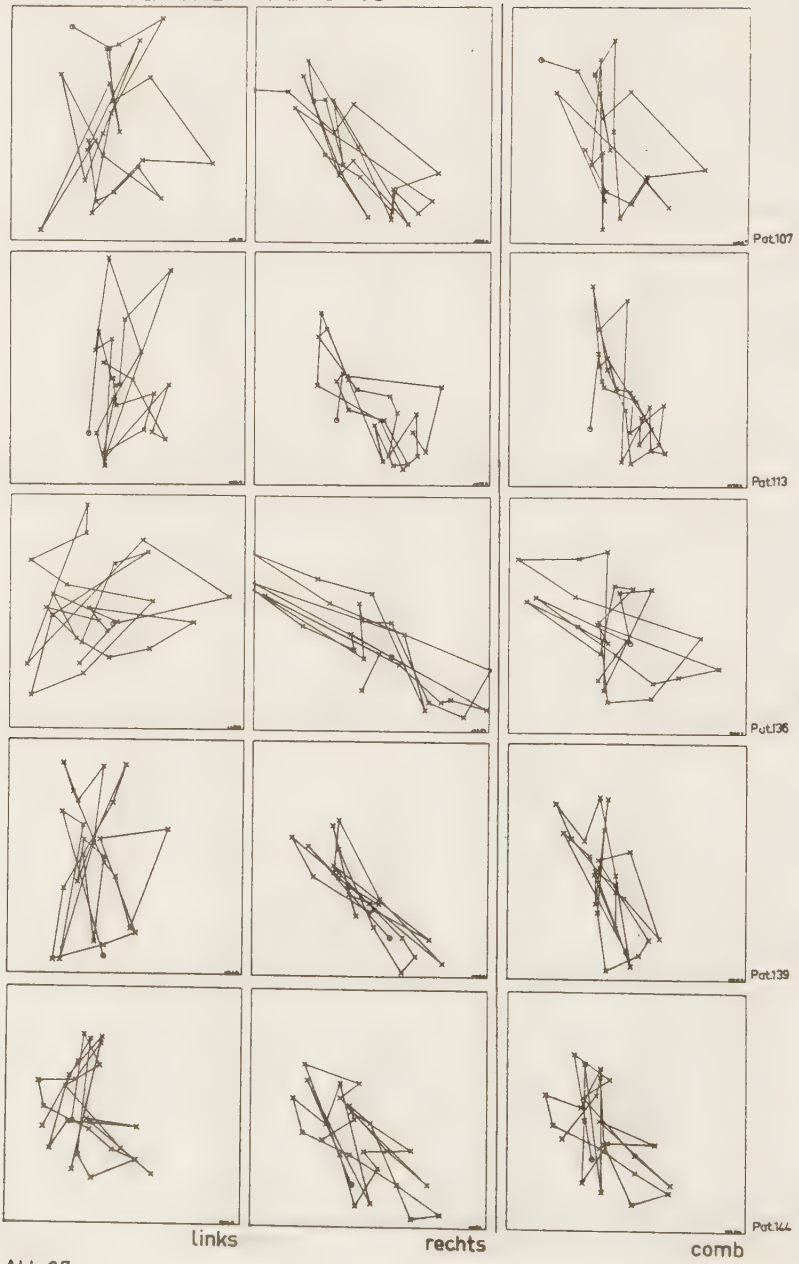


Abb.27

PLASTIK 4 – REPRÄSENTATIVE C V G's

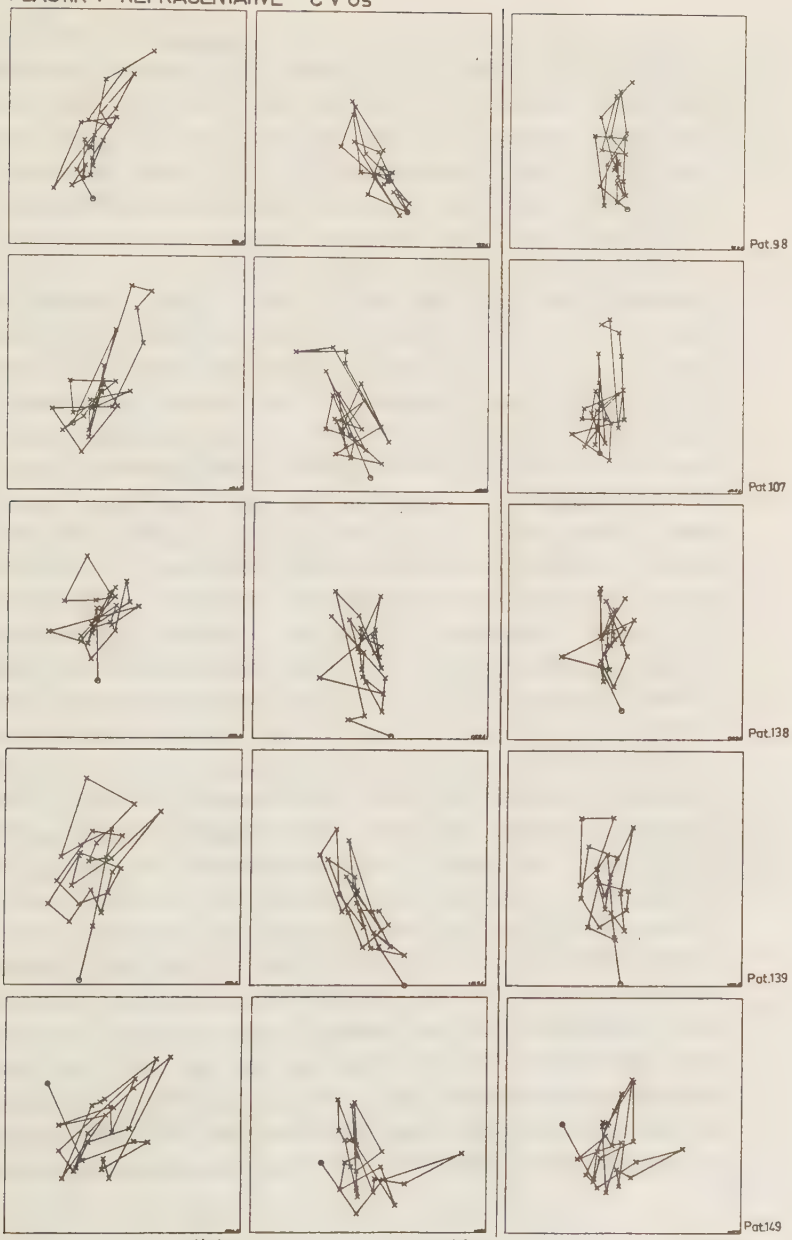


Abb.28

bildet, sondern auch nicht die weit größeren artefiziellen Horizontalausschläge beider Augen. Die Kombinations-CVGs sind frei von Artefakten dieser Art. Beim Vergleich der CVGs von rechtem und linkem Auge fällt auf, daß die Richtung der großen Blicksprünge, d.h. der langen Strecken, in ca. 60% aller Fälle diagonal verläuft und zwar von medial oben nach lateral unten. Projeziert man rechte und linke CVGs übereinander, dann kreuzen sich die beiden diagonalen Muster in der Mitte. Jede Aufwärtsbewegung war nämlich mit elektrischen Phänomenen verbunden, die in den Horizontalspuren nach medial gerichtete Bulbusrotationen vortäuschten, jede Abwärtsbewegung täuschte Bewegungen nach lateral vor. Abb.25-28zeigt dazu einige repräsentative CVGs von allen Plastiken. Die Kombinations-CVGs bilden die Silhouetten besser ab als die CVGs des rechten oder linken Auges. In Abb. 24 sind einige Beispiele für weniger ausgeprägte Horizontaldissoziationen zusammengestellt. Dies war etwa bei 40% der Probanden anzutreffen. Wir sind der Ursache der häufigen Artefakte in den Horizontalspuren nachgegangen. Ihre bloße Existenz konnte durch Einzelbildanalysen von gefilmten Vertikalbewegungen bereits nachgewiesen werden. Als Ursache hatten wir eine relativ zu hohe Lage der Nasalelektrode bzw. eine zu tiefe Position der Temporalelektroden bzw. Verzerrungen des elektrischen Feldes angenommen, die für die Ableitungen denselben Effekt haben. Indem wir die Elektrodenpositionen variierten und vertikale bzw. diagonale Augenbewegungen aufzeichneten, konnten wir diese Annahme erklären: Abb. 8 zeigt vierspurige EOGs bei Vertikalbewegungen vor und nach Veränderungen der Lage der drei Horizontalelektroden. In Abb. 29 sind EOGs einer Diagonalbewegung aufgezeichnet. Im oberen Bild projeziert sich die Bewegung nur auf eine von beiden Horizontalableitungen. Im unteren Teil jedoch erhalten wir, wie zu erwarten, bei Diagonalbewegungen in beiden Horizontalspuren gleichgerichtete, etwa gleich hohe Ausschläge.

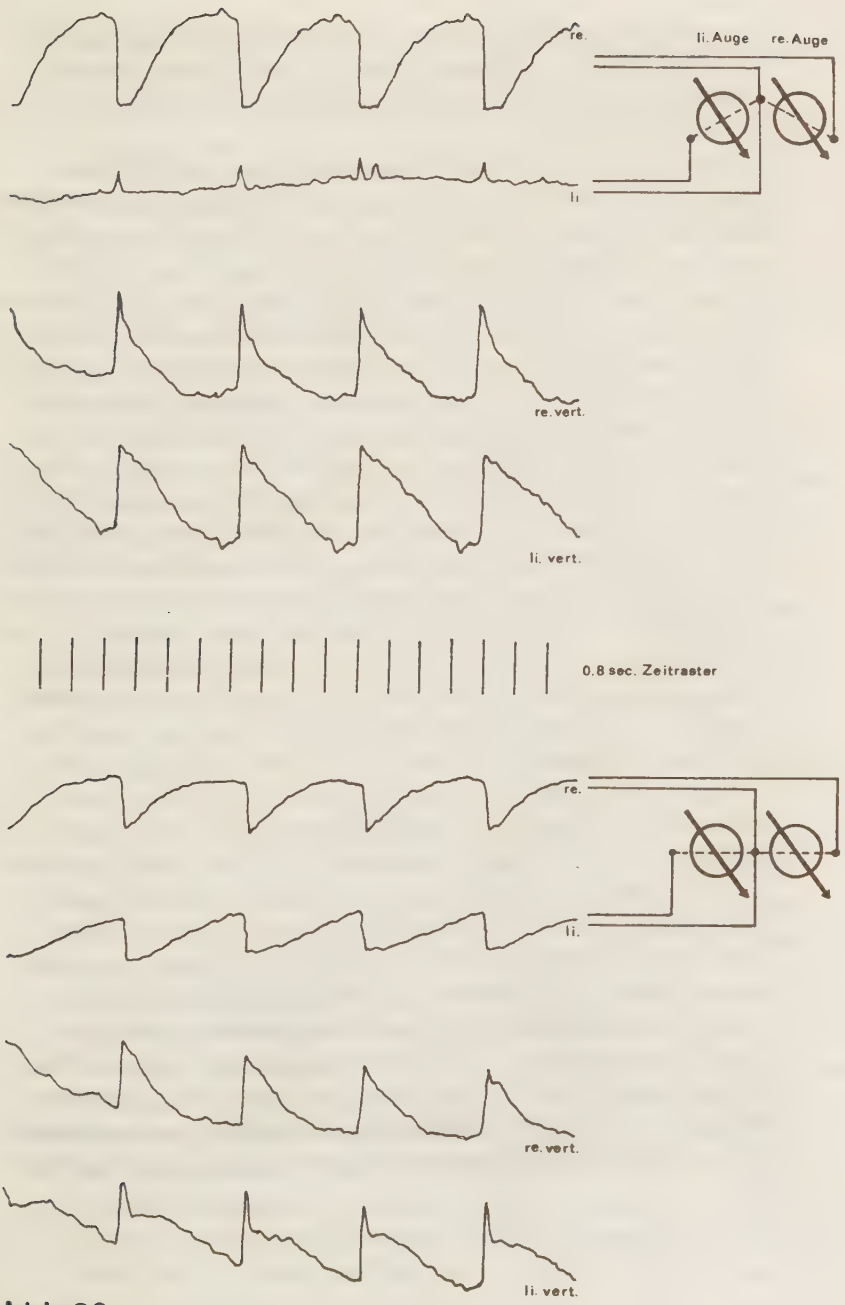
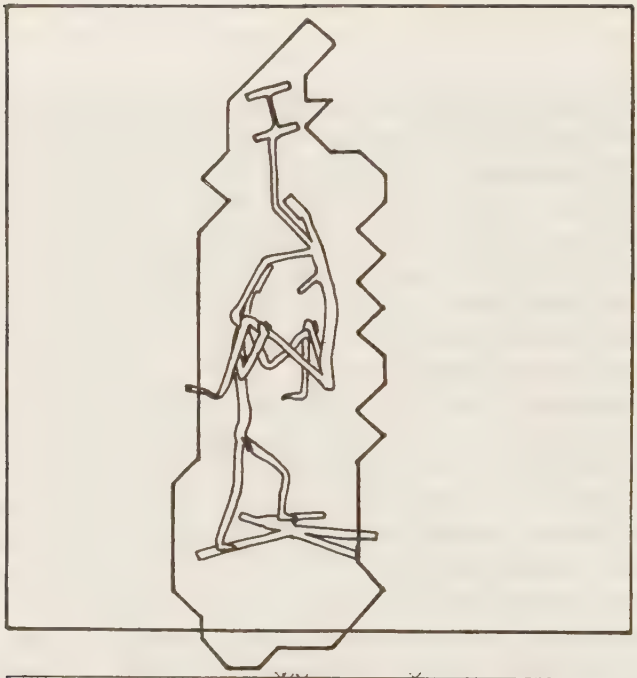

re.
li.
li. Auge
re. Auge
re. vert.
li. vert.
0.8 sec. Zeitraster
re.
li.
re. vert.
li. vert.

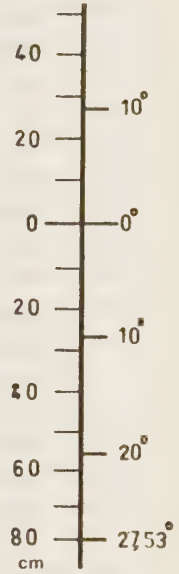
Abb.29

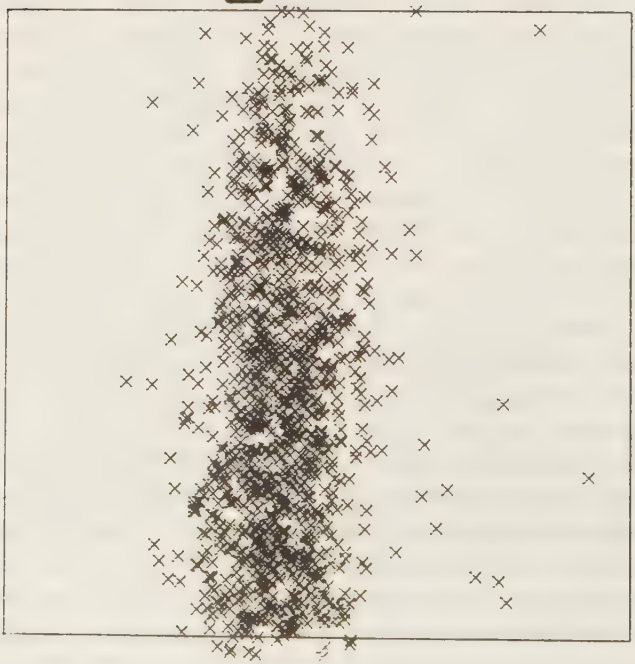
Wir haben außerdem versucht, die elektrischen Ableitungen in einem Modell nachzuahmen. Wir konnten daraus einige Phänomene, wie die Aufzeichnungen bei Pat.142 (Fall 9 der Kasuistik) erklären.
Die Artefakte verhinderten eine Bewertung der CVGs des rechten und linken Auges. Die vielfach diskutierte Dominanz des linken Auges können wir aus den EOGs nicht bestätigen. Nach den Aufzeichnungen (EOGs) folgen beide Augen völlig synchron den Stimuli bei Horizontalbewegungen. Bei Vertikalbewegungen finden sich in den Vertikalspuren beider Augen völlig identische Ausschläge, während gleichzeitig in den Horizontalspuren die gegenschlägigen Artefakte auftreten.
Um die häufigsten Augenstellungen in einem Kollektiv bei einer Plastik darzustellen, haben wir Punktwolken plotten lassen. In ihnen sind von vielen Probanden die je 26 Punkte der einzelnen CVGs in einem Bild zusammengefaßt, ohne daß sie durch Linien verbunden sind. Die Punktwolke gibt also keine Auskunft über vorherrschende Bewegungsrichtungen und Geschwindigkeiten wie das CVG, sondern ihre Dichte ist ein Maß für die Aufenthaltswahrscheinlichkeit des Fixationspunktes eines Auges in diesem Areal. Die Dichte der Punktwolken in irgendeinem Bereich gibt auch die Zeit an, die der Fixationspunkt durchschnittlich dort verbracht hat. Punktwolken wurden, wie auch die CVGs, für beide Augen getrennt sowie für das beschriebene fiktive Mittelauge angefertigt. Wir haben Punktwolken für jede Figur auch vor und nach Drehung, für verschiedene Anamnese-Gruppen sowie für Gruppen mit ähnlichen CVGs plotten lassen und dann verglichen. Zunächst haben wir bei jeder Plastik die Probanden anhand von Kombinations-CVGs herausgesucht, bei denen die Bewegungsmuster besonders gut den Formen der Figuren entsprachen. Von diesen Gruppen wurden dann Punktwolken angefertigt. Es gab keine Merkmale, die in dieser Gruppe von Probanden häufiger gewesen wären als im Gesamtkollektiv. Schwindelkranke, Alte und Junge, Studenten und

Rentner zeigen in gleicher Häufigkeit okuläre Bewegungsmuster. Auch wurden von diesen Gruppen durchschnittlich keine differenzierteren Angaben über die Plastiken gemacht als im Gesamtkollektiv. Wir können also folgern, daß an den Objekten orientierte okuläre Bewegungsmuster keine Voraussetzungen für genaues visuelles Umwelt-Erfassen sind. Die Punktwolken dieser Gruppen (Abb.30 - 33) zeigen eine hervorragende Übereinstimmung mit den Formen der Plastiken. Diese Feststellung ist nicht trivial, denn das Auge könnte an einem Objekt ja immer schnell von einem Ende zum anderen gesprungen sein, ohne sich im Zentrum länger aufzuhalten. Die Punktwolken wären dann schwerpunktmäßig an den Rändern konzentriert und zentral aufgehellt. Daß die Punktwolken z. B. bei Plastik 1 nicht oben und unten polarisiert sind, zeigt an, daß bei der Figur nicht nur ständig von oben nach unten gesprungen wurde, wie man aus den CVGs mit ihren vorherrschenden langen senkrechten Strichen schließen könnte, sondern die Augen auf allen Teilen durchschnittlich gleich lang verharrten. Konzentrationsgefälle der Punktwolken haben wir besser sichtbar gemacht, indem wir Grenzen eingezeichnet haben, auf deren einer Seite alle Bereiche unter und der anderen Seite Bereiche über einer bestimmten Punktzahl pro Flächeneinheit liegen. Die gesamte Fläche haben wir dazu in 576 Quadrate je 0,25 cm^2 unterteilt und dann jeweils ausgezählt, ob die Punktmenge in einem Feld ein Limit überschreitet oder nicht. In dichteren Bereichen wurde als Kriterium für die Lage der Grenzlinien der Helligkeitswert eines Quadrates herangezogen. Leider war ein Differenzieren in den Zentren der Punktwolken großer Kollektive nicht mehr möglich, da dort nur noch gleichmäßig schwarze Felder vorlagen. Abb. 30 - 33 zeigen unten die Kombinations-Punktwolken der beschriebenen Probandengruppen und darüber die kontrastverstärkenden Grenzlinien des Dichtegefälles. Außerdem sind die Konturen der Plastiken wie sie dem Betrachter erschienen maßstabsgerecht eingezeichnet. Bei Plastik 1 ist die Punktwolke gut zentriert und hüllt die Konturen voll ein. Einzelne Verdichtungszonen fallen im Bereich der Körper-



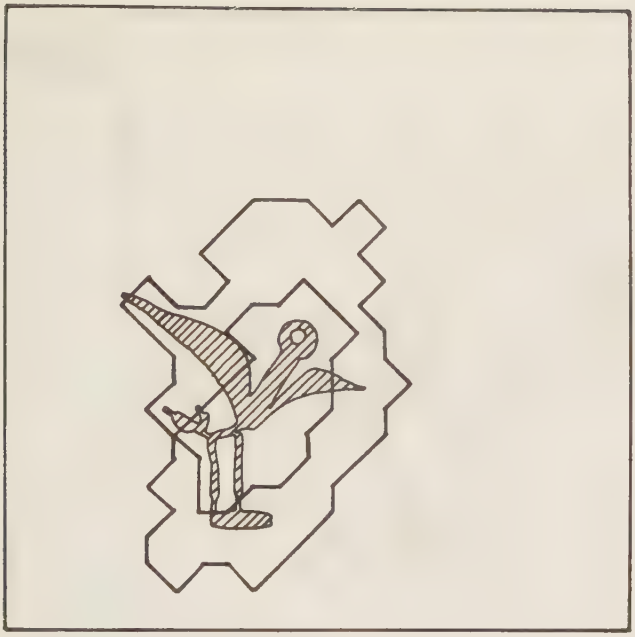
Dichteverteilung
Plastik 1



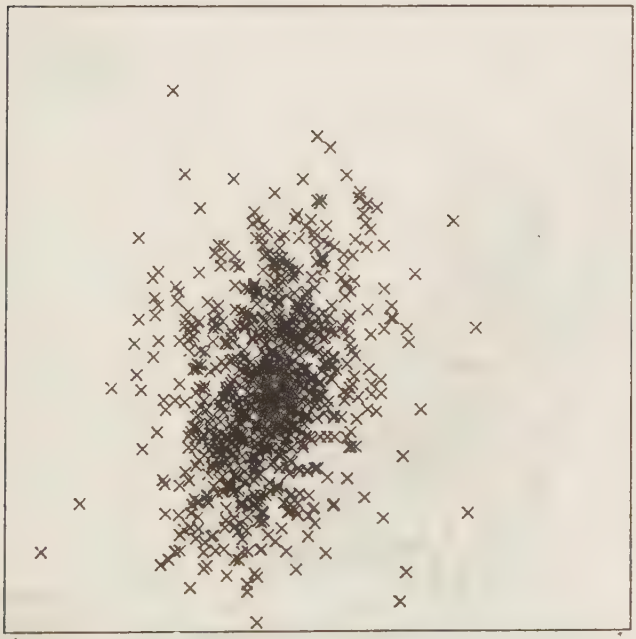


Punktwolke
Plastik 1

45 Pat.
Abb.30

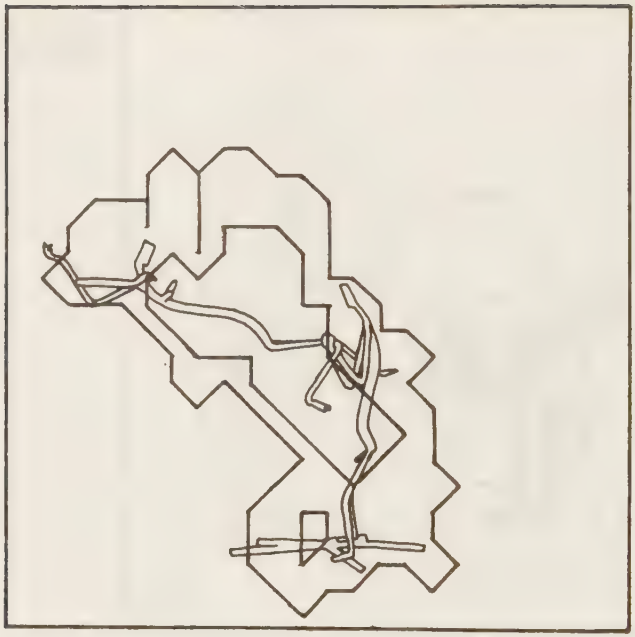


Dichteverteilung
Plastik 2

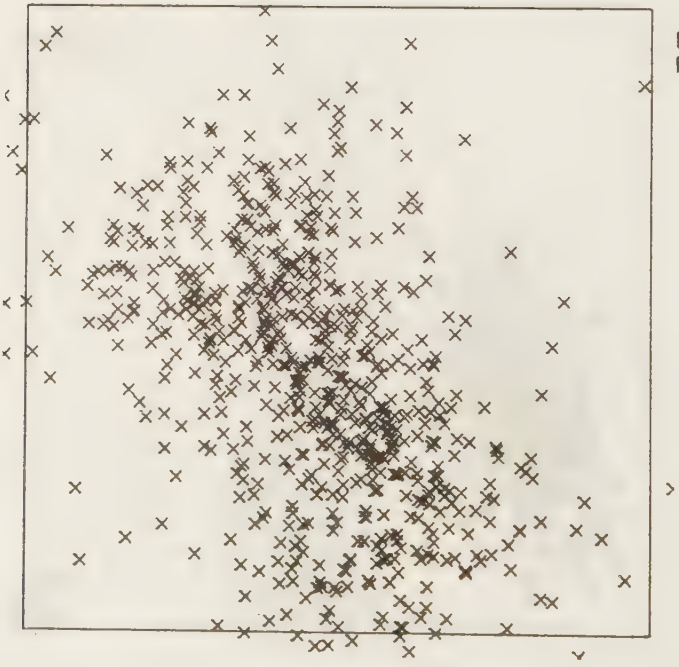


Punktwolke
Plastik 2

33Pat.
Abb. 31

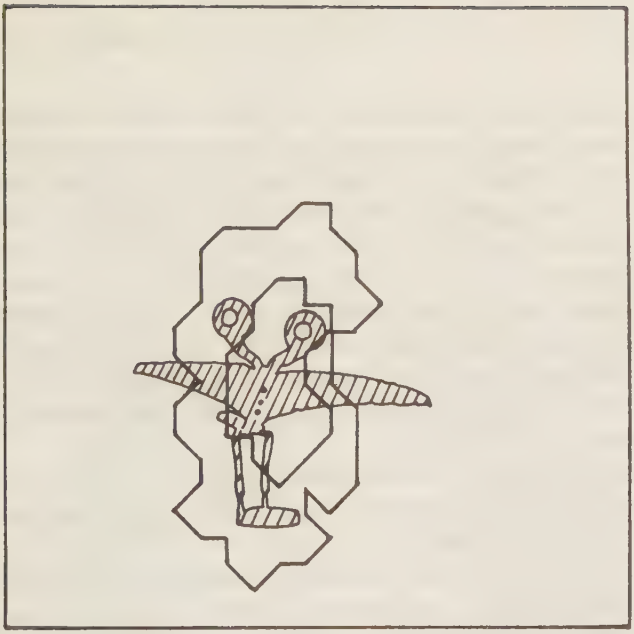


Dichteverteilung
Plastik 3

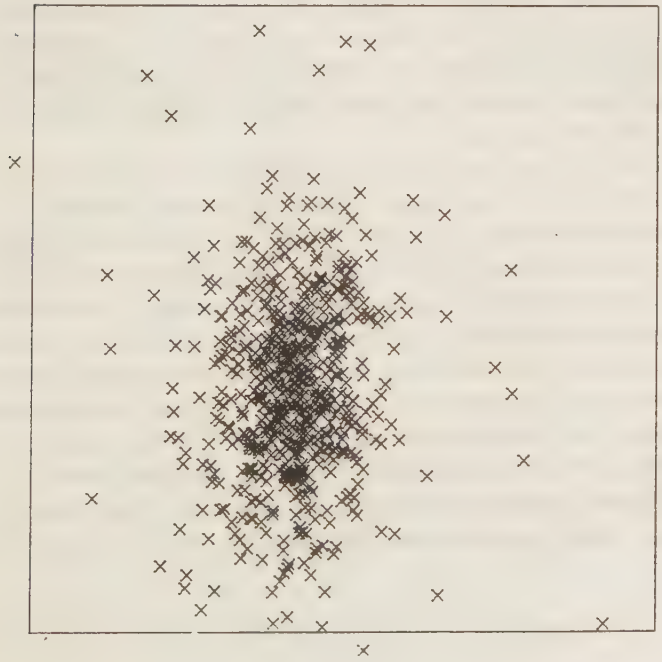


Punktwolke
Plastik 3

26 Pat.
Abb.32



Dichteverteilung
Plastik 4



Punktwolke
Plastik 4

22Pat.
Abb. 33

stämme der beiden Figuren auf. Von der gleichen Probandengruppe sind die Punktwolken beider Augen einzeln in Abb.34 zu sehen. In Abb. 35 sind dazu die Grenzlinien der Punkte--Flächendichte eingezeichnet. Die Zentren beider Koordinatensysteme wurden wegen der besseren Übersichtlichkeit auseinandergezogen, so daß man sich die beiden gestrichelten Fadenkreuze zur Deckung gebracht denken muß. Die erwähnte, häufige Kreuzung der CVGs von rechtem und linkem Auge wird dann auch hier, wenn auch weniger deutlich, erkennbar. Die Punktwolken von rechtem und linkem Auge sind einzeln nicht bewertbar.

Bei Plastik 2 konzentrierte sich der Blick auf Kopf, Körper und Füße des Vogels. Die Flügelspitzen liegen in einem etwas dünner besetzten Bereich.

Die dritte Figur wurde insgesamt in weniger CVGs gut abgebildet. Die Punktwolke ist viel weiter gestreut als bei den anderen Objekten. Eine genaue Auszählung der Punkte pro Flächeneinheit ist gut möglich und ergibt ein großes Feld, dessen Form gut der der Plastik entspricht und sie völlig einhüllt. Ein kleineres Feld höherer Dichte stellen wir im Bereich des Körpers der Frau und der unteren Körperpartie des Mannes fest.

Bei Plastik 4, die in noch weniger CVGs als Plastik 3 gut abgebildet war, liegen große Teile der Flügel außerhalb der Verdichtungszone. Die Punktwolke ist hauptsächlich auf Körper und Kopf des Vogels konzentriert. Wie auch die Befragung der Probanden ergab, mag vor allem der rätselhafte Kopf viel Aufmerksamkeit auf sich gezogen haben, so daß die symmetrischen herausragenden Flügel weniger belegt wurden.

Wir haben auch Punktwolken aller 150 Probanden angefertigt. Der Anteil der grob überschießenden Augenbewegungen war sehr hoch und nur sehr wenige Probanden zeigten exakt an den Objekten orientierte Augenbewegungen. Es überrascht zunächst, daß diese Punktwolken (Abb.36 -39) relativ nicht

PLASTIK 1 RE. UND LI. AUGE 45 PAT.

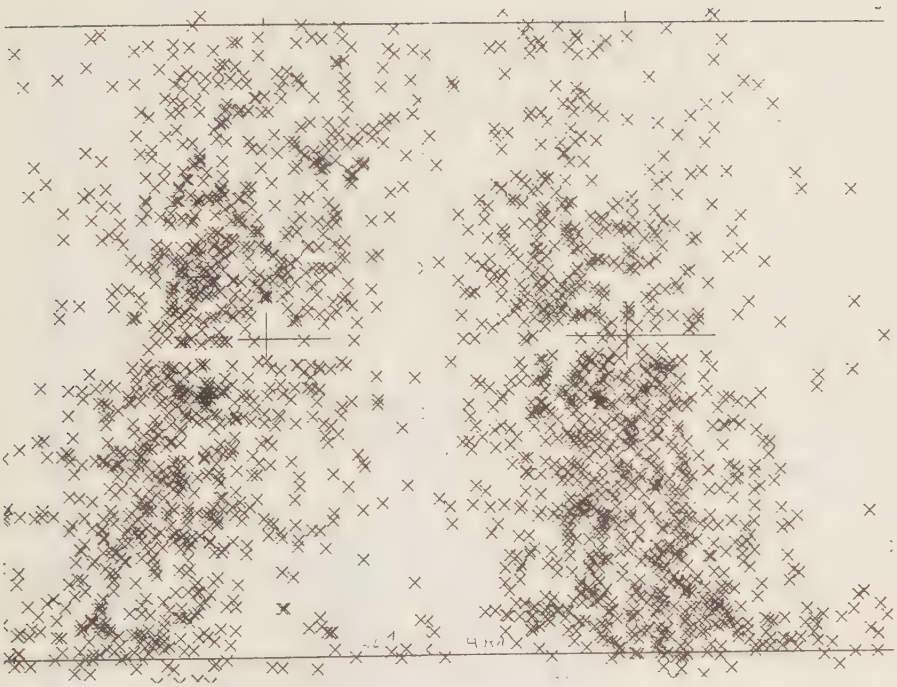
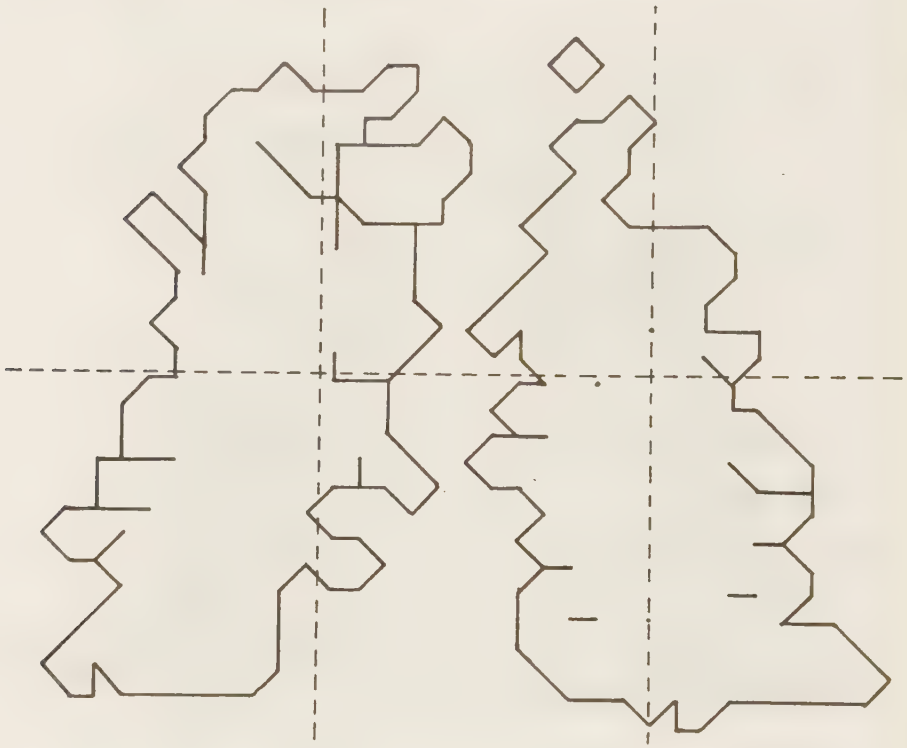


Abb.34

BEREICHE ERHÖHTER AUFENTHALTSWAHRSCHEINLICHKEIT
DER FIXATIONSPUNKTE ; BEIDE AUGEN

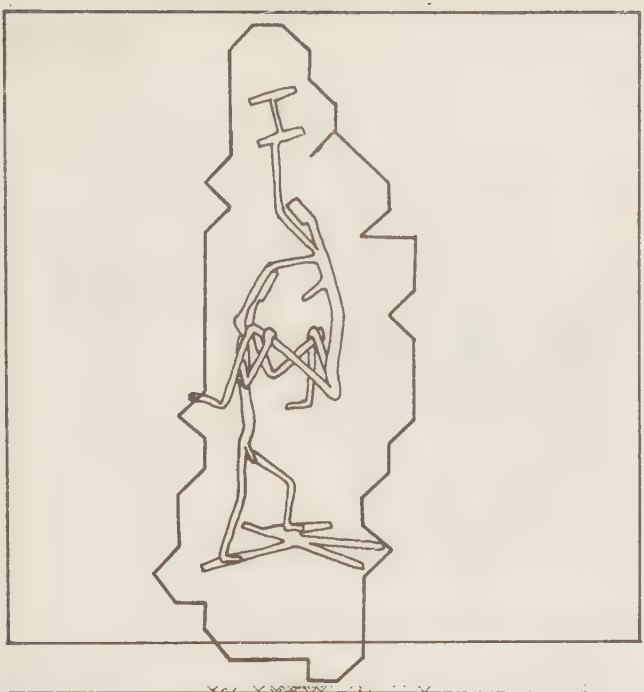


linkes Auge

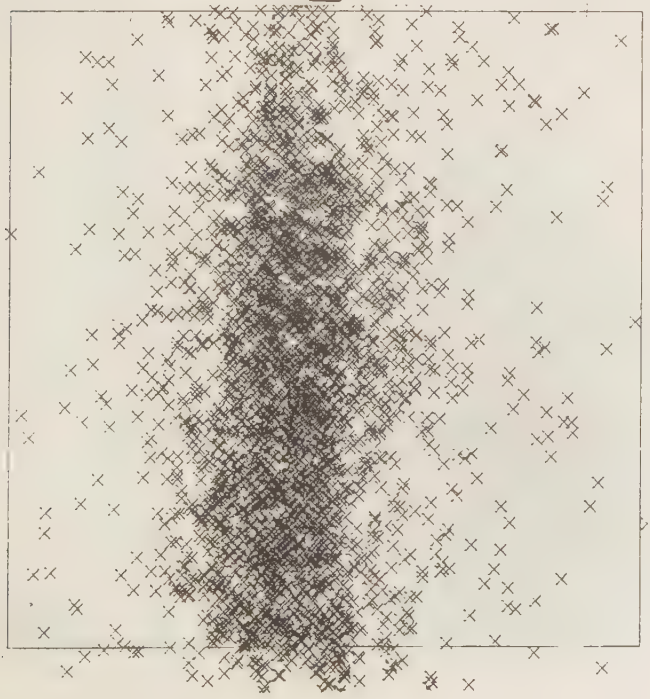
rechtes Auge

45 Pat.

Abb.35



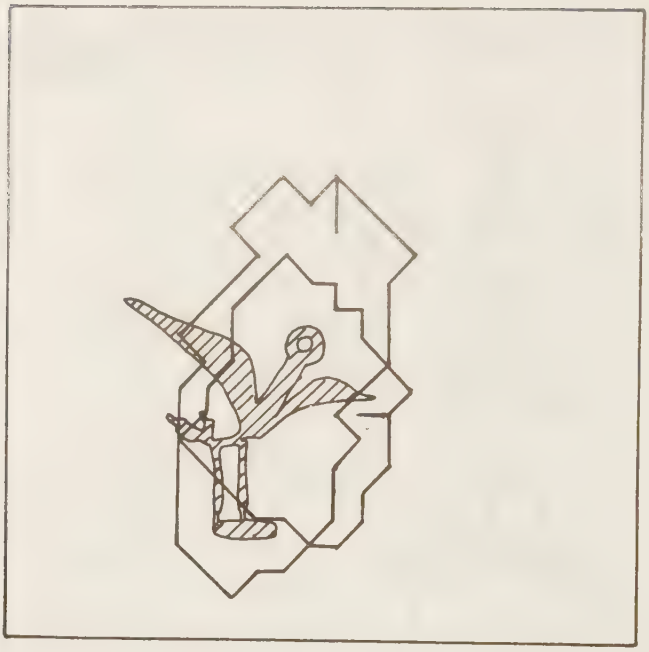
Dichteverteilung
Plastik 1



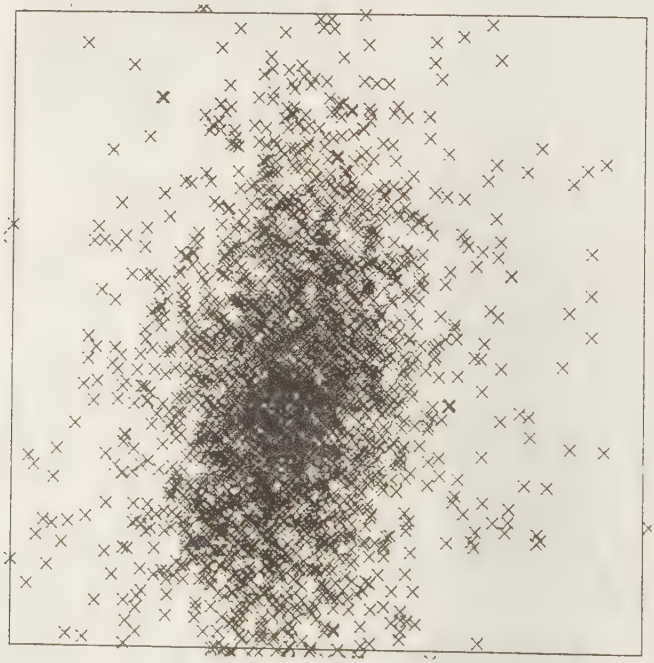
Punktwolke
Plastik 1

150 Pat.

Abb.36



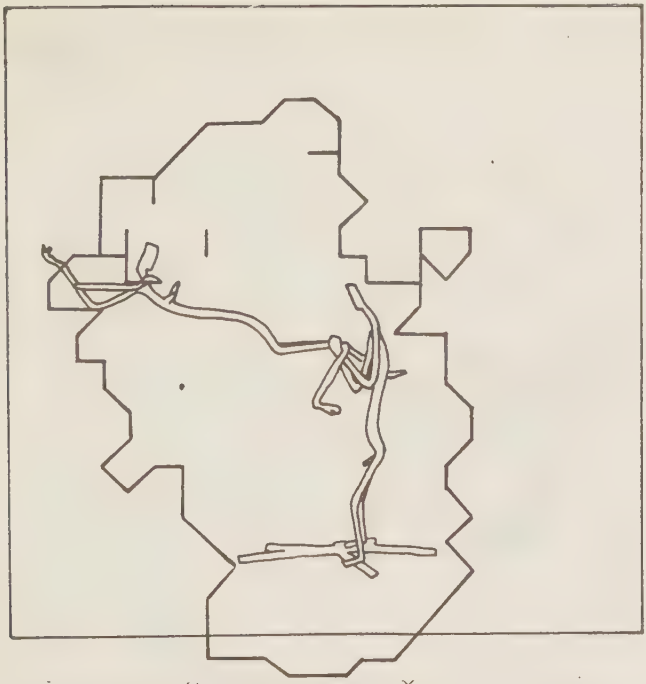
Dichteverteilung
Plastik 2



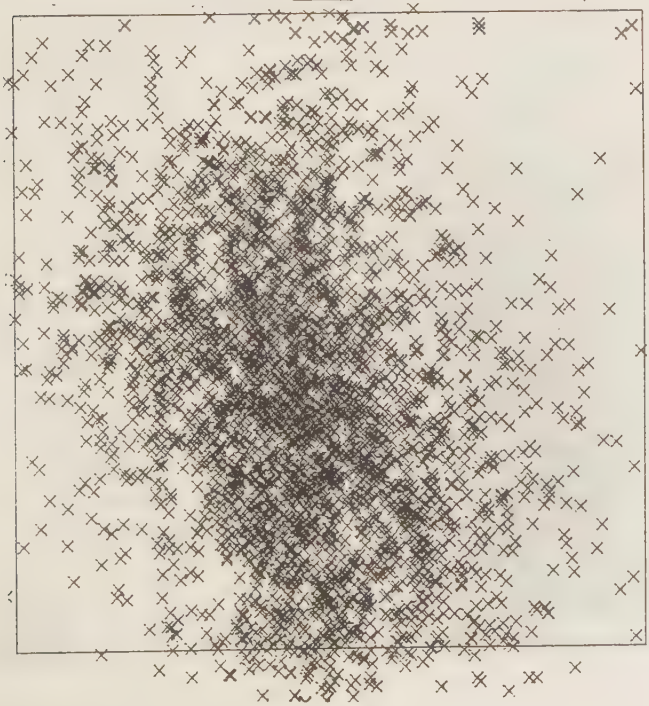
Dichteverteilung
Plastik 2

150 Pat.

Abb.37

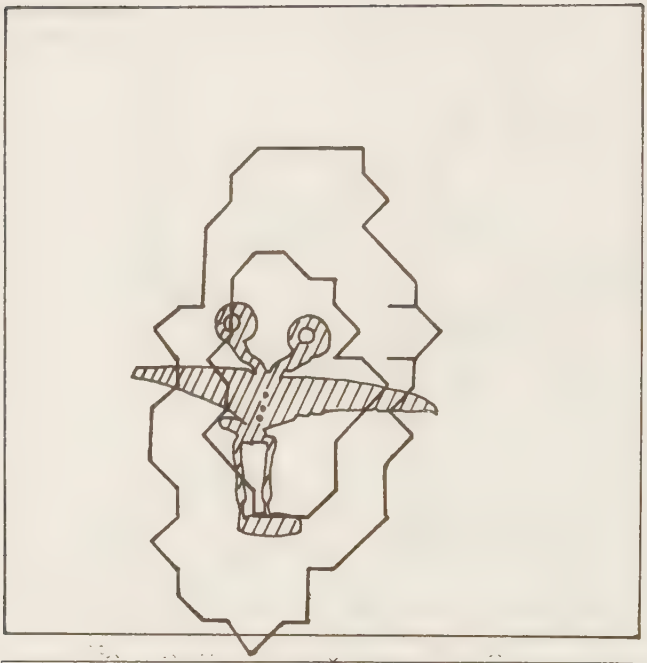


Dichteverteilung
Plastik 3

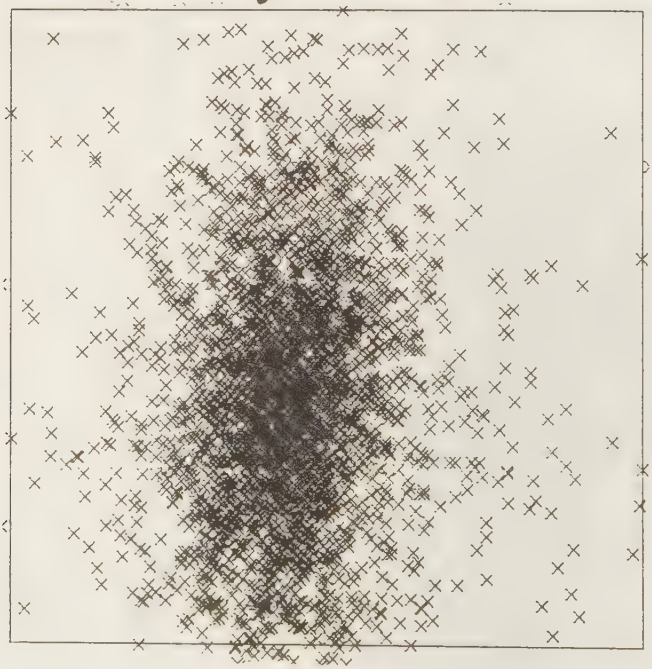


Punktwolke
Plastik 3

150 Pat.
Abb.38



Dichteverteilung
Plastik 4



Punktwolke
Plastik 4

150 Pat.

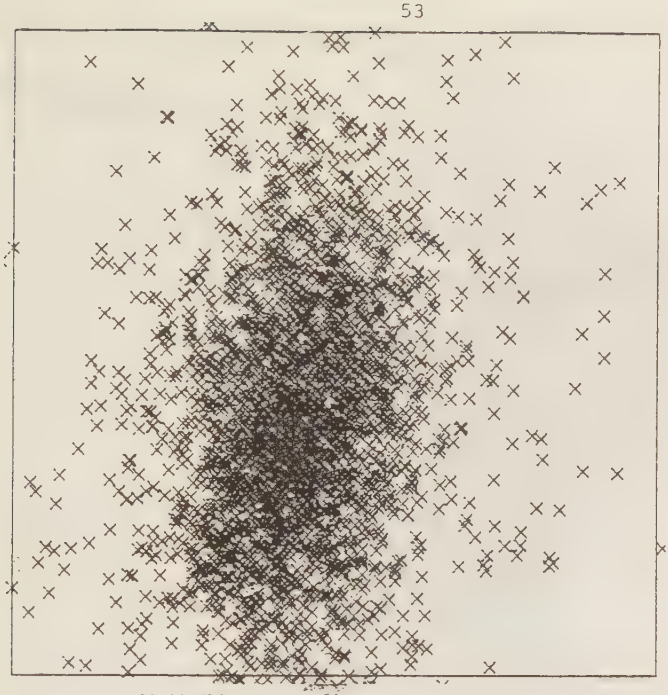
Abb.39

weiter streuen als die Punktwolken der speziell ausgewählten Probanden mit genauen CVGs, sodaß alle Plastiken prinzipiell die gleiche Form haben wie bei diesen kleinen Gruppen. Man muß jedoch berücksichtigen, daß, wie oben erwähnt, beim CVG die Linien, d.h. die Richtungen und Geschwindigkeiten der Bewegungen formgebend sind. Einige exzentrische Punkte, die mit hohen Winkelgeschwindigkeiten (mit langen Verbindungslinien) angelaufen werden,verändern den Eindruck bereits sehr stark, während noch die Masse aller Punkte auf der Plastik konzentriert ist.

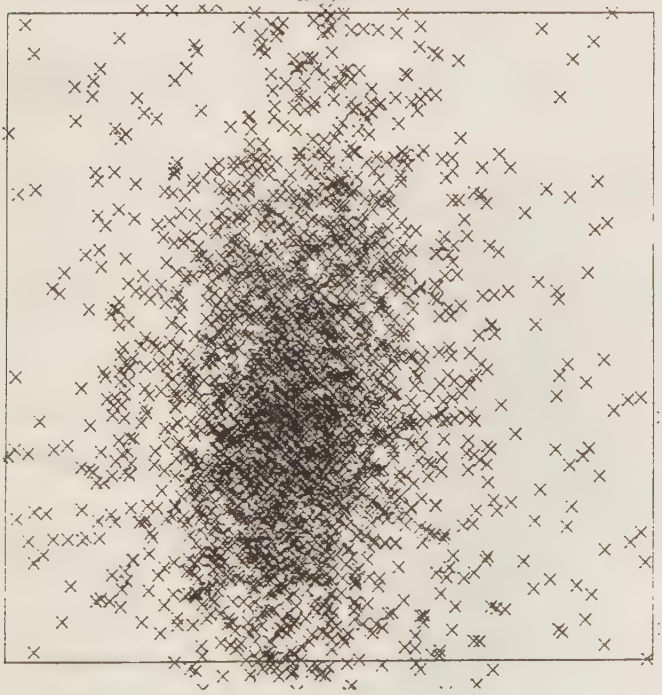
Die Plastiken 2 und 3 werden zweimal gezeigt. Zusätzlich zum üblichen Blicktest wurden die Probanden vor Anschauen der zweiten Plastik auf dem Drehstuhl bei geschlossenen Augen gegen, bei Plastik 3 im Uhrzeigersinn gedreht. Dies erfolgte unter den Bedingungen, wie sie von CLAUSSEN für 5 den Rotatorischen Intensitäts-Dämpfungstest (RIDT) angegeben sind, also mit linearer Beschleunigung von 3 Grad/sec.^{2} bis zu einer Geschwindigkeit von 30 Grad/sec, die dann vor dem abrupten Abbremsen für 3 Minuten beibehalten wurde. Damit wird ein für das Vestibularisorgan sicher überschwelliger Reiz gesetzt. 5 7 8

Das Abbremsen des Drehstuhles erfolgte in einer bestimmten Stellung so, daß dem Patienten bei anschließendem Öffnen der Augen die Plastik in der üblichen Position erschien. Die sonst im RIDT beobachteten postrotatorischen Nystagmussignale können bei uns im CVG nicht abgebildet werden, da ihre Frequenz über unserer methodisch bedingten (0,8 sec-Zeitraster) oberen Grenzfrequenz liegt. Jedoch ist an den einzelnen Spuren der Elektro-Okulogramme zu erkennen, daß sich diese Nystagmen den Blickbewegungen beim Betrachten einer Form normalerweise nicht überlagern. Dies ist Aus- 19 24 druck der physiologischen retinalen Nystagmushemmung. In den wenigen Fällen, bei denen die freien Blickbewegungen von Spontannystagmen (ohne Drehung) oder von postrotatorischen Nystagmen (bei Plastik 2 und 3) überlagert waren, fielen meist visuelle Wahrnehmungsstörungen auf (siehe auch Kasuistik), die nicht auf Brechungsanomalien oder

sonstige Augenkrankheiten zurückzuführen waren. Wir betrachteten deshalb die Überlagerung von spontanen oder postrotatorischen Nystagmen über freie Blickbewegungen als pathologisch. Nach Drehung waren aber bei vielen Probanden die Horizontalbewegungen beider Augen und des fiktiven Mittelauges stark über die Konturen der Plastiken hinaus verbreitert. Die Punktwolken der postrotatorischen Aufzeichnungen aller 150 Probanden überraschten dadurch, daß sie sich nicht, wie erwartet, durch größere Horizontalausdehnung von den normalen Punktwolken des Gesamtkollektivs bei Plastik 2 und 3 unterschieden. In Abb.40 und 41 sind in der oberen Hälfte die Punktwolken des Gesamtkollektivs bei Plastik 2 und 3 ohne Drehung, in der unteren Hälfte nach Drehung aufgezeichnet: es sind keine wesentlichen Unterschiede feststellbar. Als Ursache fanden wir heraus, daß es hier offensichtlich zwei gegensätzliche Reaktionen auf die vestibulären Impulse gibt, die sich beim üblichen RIDT in Nystagmen äußern. Neben den verbreiterten postrotatorischen CVGs fielen uns nämlich auch Muster auf, die gegenüber den CVGs vor Drehung schmäler waren. Der Anteil der verbreiterten CVGs war etwa so groß wie der der schmäleren. Die Punktwolken sind deshalb nicht verbreitert. Beide Reaktionsgruppen treten meist bei der gleichen Person auf; ein Proband hat dann z.B. bei Figur 2 ein postrotatorisch stark verbreitertes CVG, während er bei Plastik 3 nach der Drehung viel kleinere horizontale Bulbusbewegungen aufweist. Nach Drehung waren bei je 20% der Probanden die CVGs verbreitert oder verschmälert, bei 60% blieben sie etwa gleich. Diese Anteile waren für Rechts-(Plastik 3) und Linksdrehung (Plastik 2) gleich hoch.

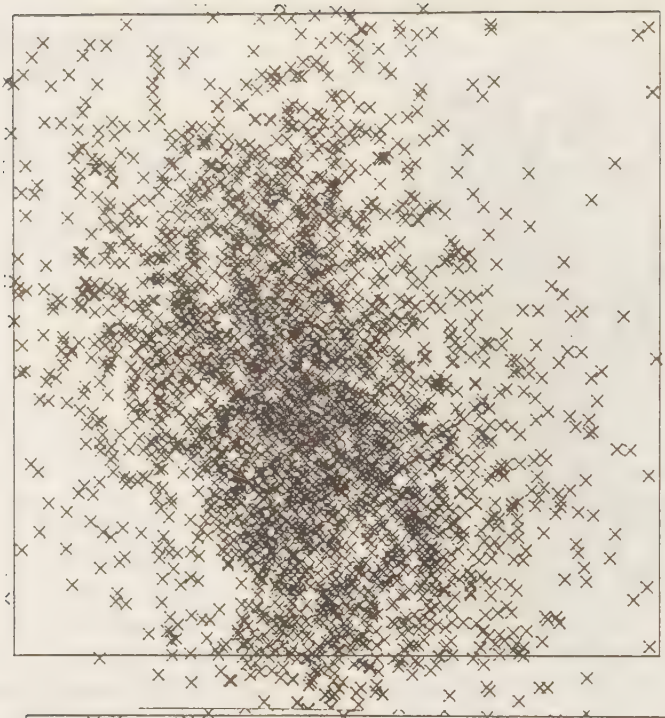


DICHTEVERTEILUNG
PLASTIK 2

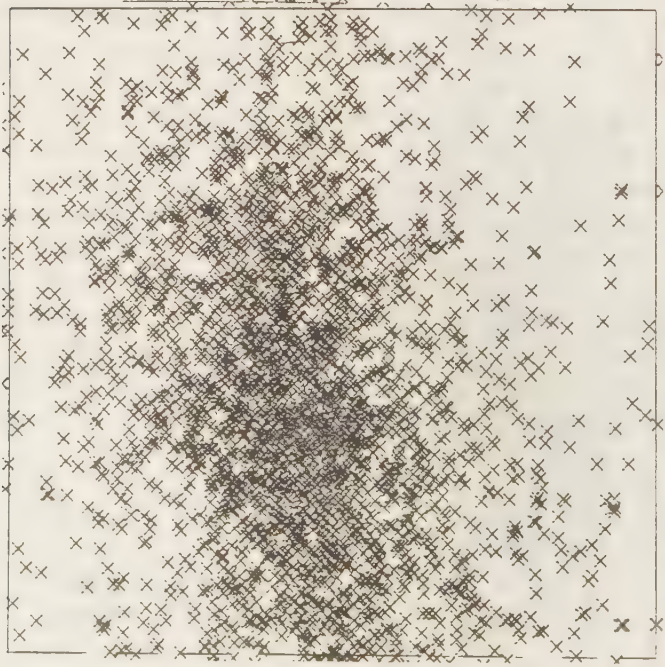


DICHTEVERTEILUNG
PLASTIK (2)

150 PAT.
Abb. 40



DICHTEVERTEILUNG
PLASTIK 3



DICHTEVERTEILUNG
PLASTIK ③

× 150 PAT.

Abb. 41

ERKENNUNG DER PLASTIKEN (150 Pat., Würzburg 1978)

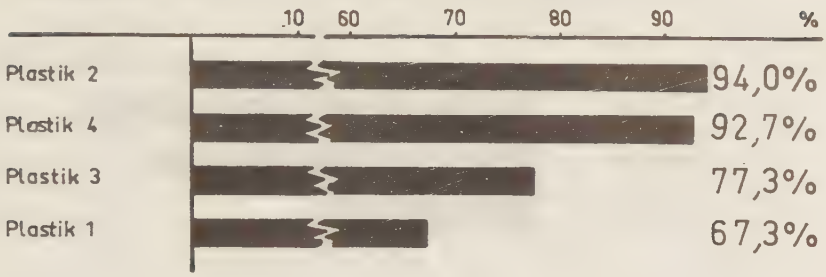


Abb. 42

GENAUE ANGABEN ÜBER DIE PLASTIKEN (150 Pat., Würzburg 1978)

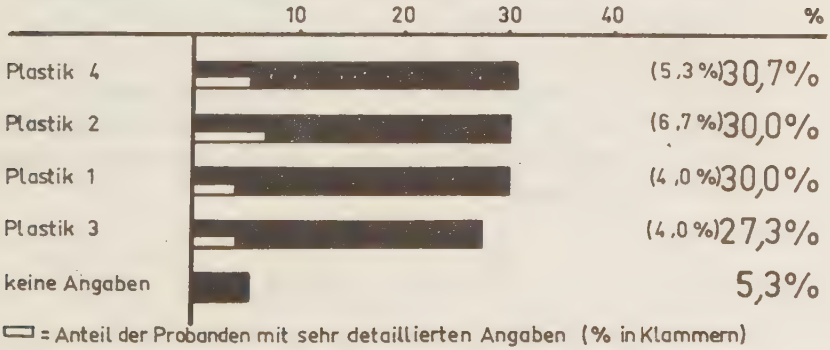


Abb. 43

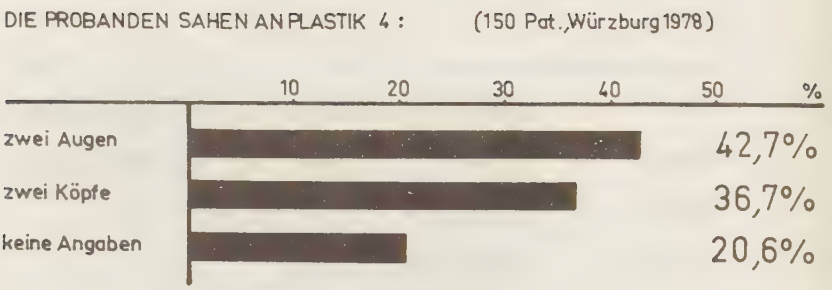
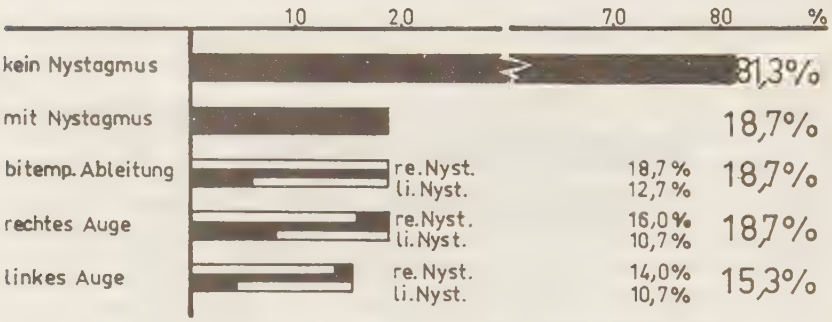


Abb.44

Die nach der Untersuchung von den Probanden über die Plastiken gemachten Angaben haben wir grob schematisch gegliedert in solche, die überhaupt ein Erkennen wiederspiegeln, in solche, die genau und solche, die sehr detailliert sind.
Die Abb. 42 und 43 machen die Häufigkeit der genannten Kategorien im Gesamtkollektiv bei allen vier Plastiken deutlich. Während der Anteil der Personen mit genauen und sehr genauen Angaben bei allen Figuren annähernd gleich ist, variiert der der reinen Erfassung sehr stark. Abb.44 zeigt schließlich noch, wie die beiden Stahlringe an Plastik 4 gedeutet werden.

Vor der Aufzeichnung der freien Blickbewegungen hatten wir bei allen Probanden den Spoantannystagmus bei offenen und geschlossenen Augen aufgezeichnet. Die Ergebnisse davon macht Abb. 45 (geschlossene Augen) und 46 (geöffnete Augen) deutlich. In den oberen Teilen der Graphiken sind die Anteile der rechts- und linksgerichteten Nystagmen jeweils als weiße Streifen in die schwarze Säule des Gesamtanteils eingezeichnet. In der unteren Hälfte ist jeweils die Frequenz der Spontannystagmen dargestellt. Der Rechtsnystagmus ist danach nicht nur etwas häufiger, sondern weist auch durchschnittlich höhere Frequenz auf. Es konnte nicht nachgewiesen werden, daß die Probanden, die eine bestimmte Art von Spontannystagmus aufgewiesen hatten, beim Betrachten der Plastiken nach vorangegangener Drehung in oder gegen den Uhrzeigersinn häufiger eine vergrößerte Amplitude der Horizontalbewegungen gezeigt hätten.

SPONTANNYSTAGMUS BEI GESCHLOSSENEN AUGEN (150Pat.)



FREQUENZ DES SPONTANNYSTAGMUS

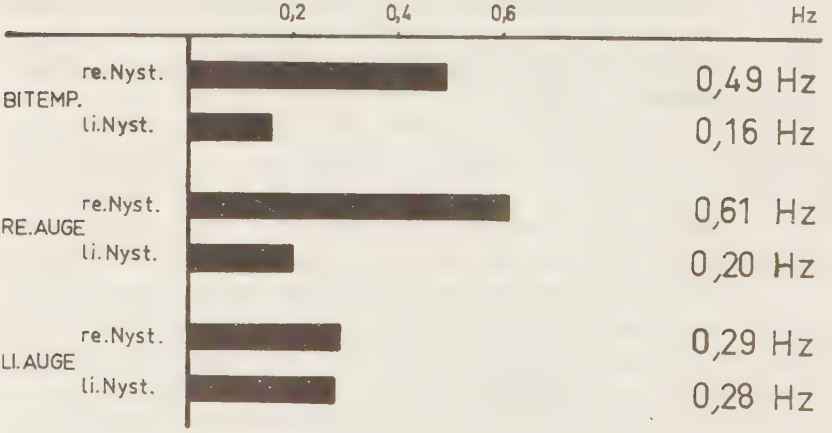
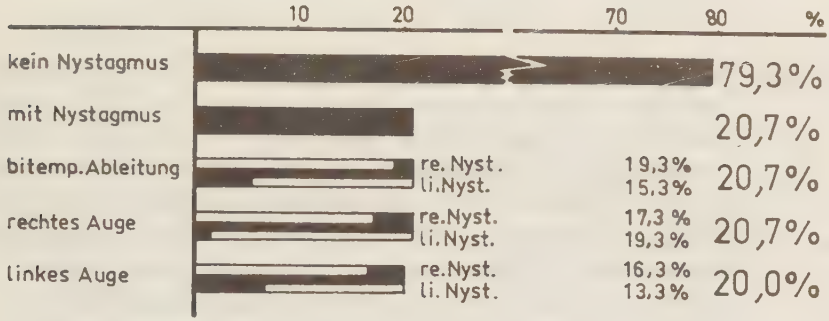


Abb.45

SPONTANNYSTAGMUS BEI GEÖFFNETEN AUGEN (150 Pat. Würzburg 1978)



FREQUENZ DES SPONTANNYSTAGMUS (150 Pat.)

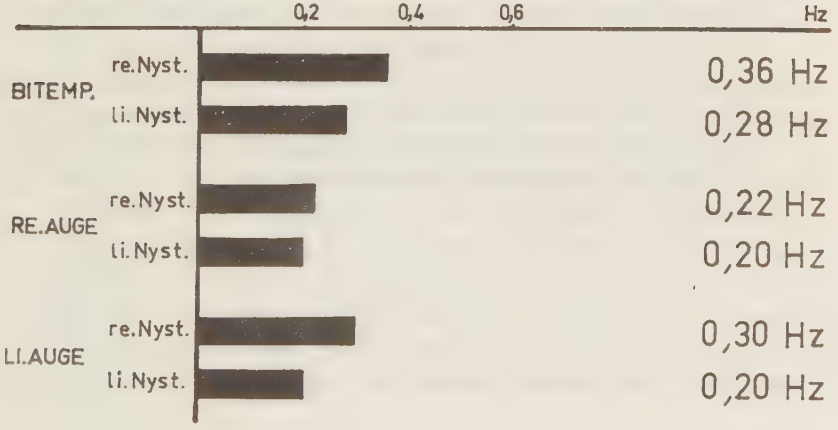


Abb. 46

KASUISTIK

Wir wollen uns in der Kasuistik nicht nur auf die Beschreibung beschränken, sondern haben zu jedem Fall eine Auswahl von CVGs zusammengestellt, durch die sich der Leser selbst einen Eindruck verschaffen kann. Während durch Punktwolken und ihre Dichteverteilung Aussagen über die Plastiken als verwendete Reizmuster möglich sind, können wir aus den CVGs Rückschlüsse über den einzelnen Patienten ziehen. Dabei gehen wir von Abweichungen der Einzelbeobachtungen von den im Gesamtkollektiv auftretenden okulären Bewegungsmustern aus. Die Normbereiche sind aber, da es sich nicht um numerisch abstufbare Ergebnisse handelt, unscharf begrenzt und die Einstufung eines Einzelergebnisses kann nur erfolgen, nachdem man sich einen Gesamtüberblick über alle vorkommenden Variationen, ihre Häufigkeit und Korrelationen zu anderen Patienten-Parametern verschafft hat. Dies gilt hier wie überall dort, wo man es mit der Bewertung von komplexen biologischen Erscheinungen zu tun hat.
Wir wollen in unserer Probanden-Auswahl Randgruppen vorstellen, sowie einige "Normalfälle". Bei gemeinsamen Auftreten zweier Merkmale bei einem Patienten soll diskutiert werden, ob es sich um kausale Zusammenhänge oder um zufällige Kombinationen handelt.

FALL 1 :
Pat. 9, Studentin, geboren 1955, CVGs Abb. 47 , Leeranamnese.

Die Probandin zeigte sich bei normaler Intelligenz und Aufmerksamkeit sehr interessiert an den Plastiken. Es kann davon ausgegangen werden, daß sie den Eichstimulus anforderungsgemäß über den ganzen Winkel von 55,06 Grad verfolgt und den Kopf nach dem Eichen nicht mehr bewegt hat und die CVGs deshalb die Augenbewegungen mit der verfahrenstechnisch maximal möglichen Präzision abbilden.
Im ENG zeigte die Probandin bei geschlossenen Augen einen feinschlägigen Vertikalnystagmus, der bei geöffneten Augen unterdrückt wurde und sich weder beim Eye-tracking noch beim Betrachten der Plastiken überlagerte.
Wie bei über 60% aller Probanden sind die CVGs von rechtem und linkem Auge bei Plastik 1 gekreuzt. Abwärtsbewegungen sind scheinbar mit Rotation nach außen, Aufwärtsbewegungen mit Rotation nach innen kombiniert. Die Kombinations-CVGs sind besser an den Plastiken orientiert als die jedes einzelnen Auges. Auffällig ist, daß bei Plastik 2 nach der Drehung größere Horizontalbewegungen auftreten als vorher, die CVGs nach Drehung bei Plastik 3 aber besser zentriert sind als vorher. Im Gesamtkollektiv war es nicht ungewöhnlich, daß nach Drehung in einer Richtung größere Horizontalbewegungen auftraten, bei der in die Gegenrichtung aber kleinere. Wir betrachten dies als Normalbefund, zumal diese postrotatorischen Veränderungen im okulären Bewegungsmuster in keiner Relation zu gutem oder schlechtem Erkennen der Plastiken standen.
Entsprechend den an den Plastiken orientierten Augenbewegungen, dem normalen Visus und der entsprechenden Motorik, konnte diese Probandin nach der Untersuchung sehr genaue Angaben über die Plastiken machen.

CVG's Pat. 9

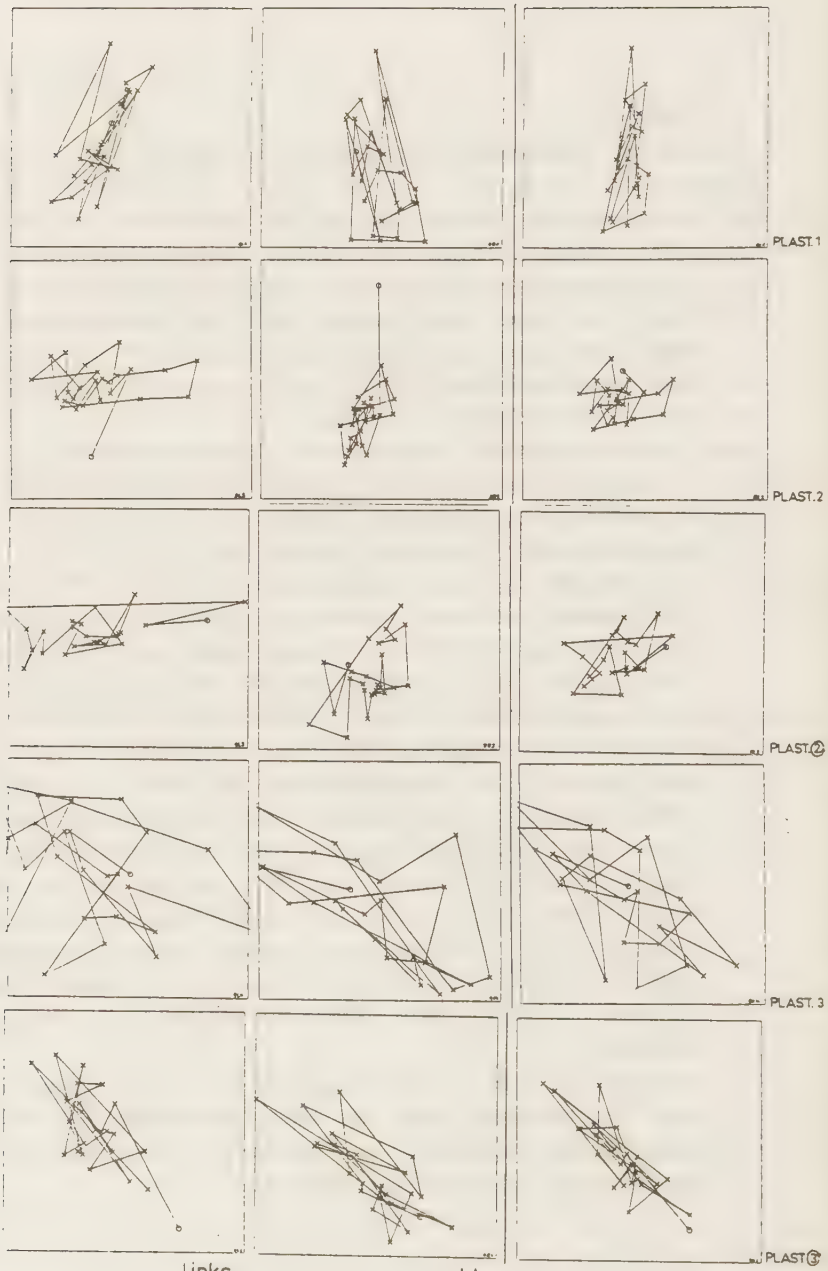


Abb.47

FALL 2 :
Pat. 31, Maler, geboren 1935, CVGs Abb.49 , EOG Abb.48 .

Der Patient war 12 Tage vor unserer Untersuchung mit den Zeichen eines Hirnstamminsultes eingeliefert worden. Er zeigte jetzt rechtsseitig immer noch eine Facialisparese mit partieller Ptosis. Wegen seiner hartnäckigen Kopfschmerzen wurde er mit Novodigal sowie mit Mannit- und Dextraninfusionen behandelt. Bei Versuchsbeginn klagte der Patient noch über gelegentliche Doppelbilder und daß ihm die Augen "langsam auseinander schwämmen". Anamnestisch war eine Abduzensparese rechts bekannt. Der Proband hatte weder bei offenen noch bei geschlossenen Augen einen Spontannystagmus. Bei den optokinetischen Eichnystagmen konnten wir einen typischen Blickrichtungsnystagmus bei Blick nach oben, jedoch keine Motilitätsstörung in irgendeiner Richtung feststellen (Abb. 48). Zwar waren die Eichausschläge klein, doch führen wir dies auf hohe Hautwiderstände oder niedrige corneo-retinale Potentiale zurück, da sie alle gleichmäßig hoch und relativ regelmäßig geformt waren und der Patient sehr kooperativ war. Wenn von einem Probanden der Eich-Stimulus nicht oder nicht vollständig verfolgt wurde, ergibt sich im EOG ein völlig anderes Bild.
Auch bei freiwilligen Augenbewegungen (siehe CVGs Abb. 49) war hier die Motilität in keiner Richtung eingeschränkt. Der Patient machte sehr detaillierte Angaben über die Plastiken.

Pat. 31 horizontale und vertikale Spuren nicht simultan aufgezeichnet

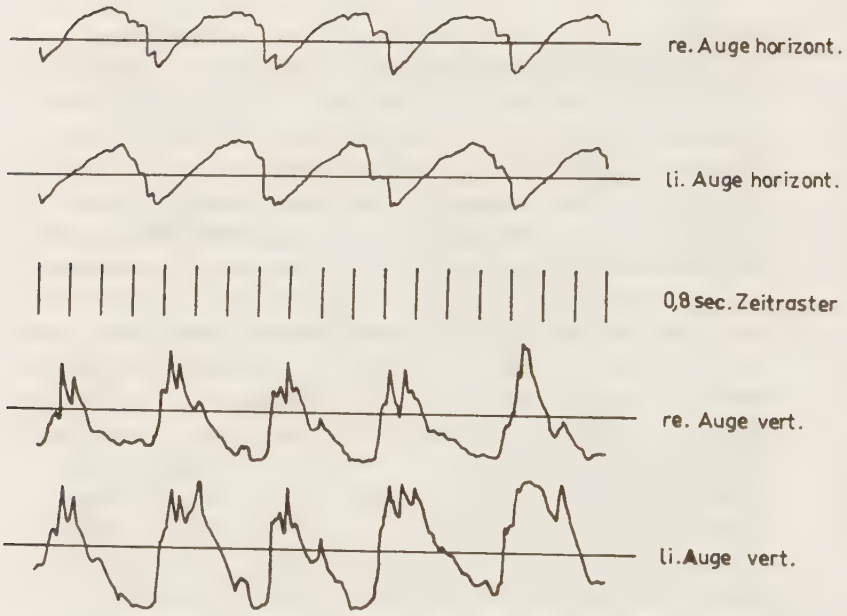


Abb. 48

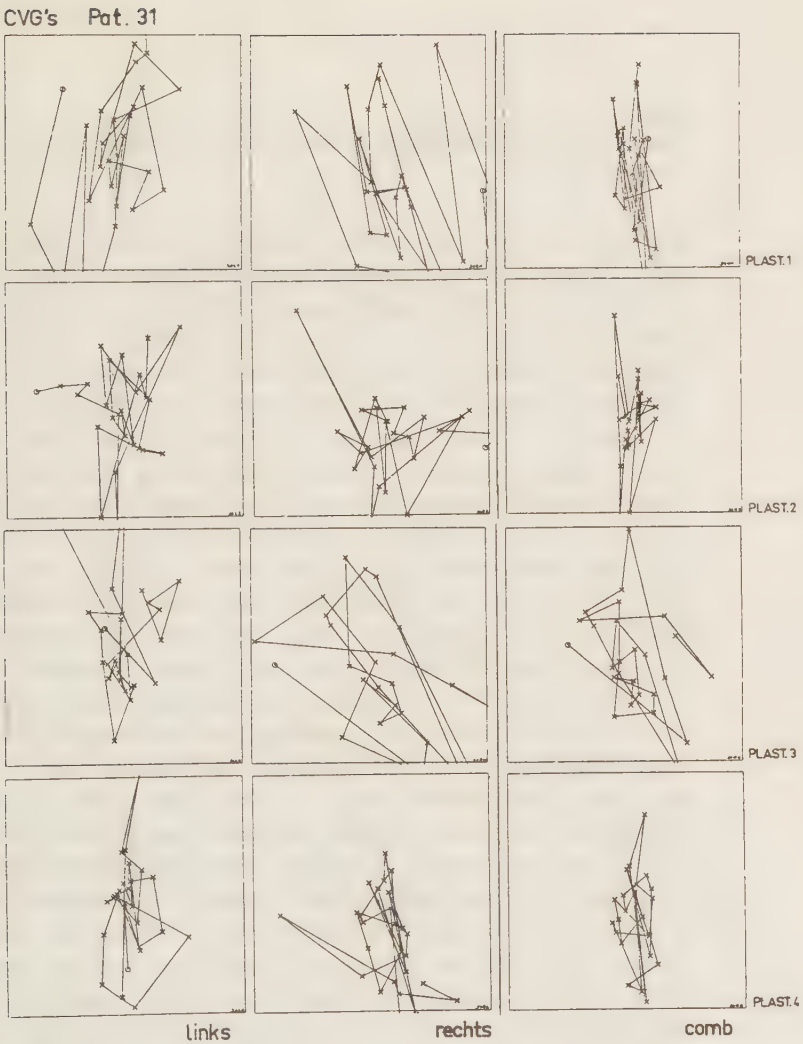


Abb.49

FALL 3 :
Pat. 109, kaufmännischer Angestellter, geboren 1943,
CVGs Abb. 50 .

Der Patient litt schon seit Kindheit oft unter Kopfschmerzen. Er hatte 1970 eine passagere Hemiparese rechts erlitten und seitdem mehrere Migräneanfälle gehabt. Das Computer--Tomogramm zeigte eine sehr diskrete Atrophie in der linken Kleinhirnhemisphäre. Lähmungserscheinungen waren zum Zeitpunkt unserer Untersuchung nicht mehr vorhanden. Der Proband hatte eine beidseitige angeborene Kurzsichtigkeit von -13 dpt., die bei unserer Untersuchung nicht durch eine Brille korrigiert war. Wir konnten keinen spontanen Nystagmus, aber eine erhebliche motorische Augenunruhe feststellen. Die Augenbewegungen beim Eichen waren unsicher; das rechte Auge zeigte bei Horizontalbewegungen sehr kleine elektrische Amplituden, die aber regelmäßig und Stimulus-synchron waren, so daß zu hohe Hautwiderstände oder kleine corneo-retinale Potentiale als Ursache angenommen werden können. Diese werden durch den Faktor der spezifischen Potentialdifferenz voll kompensiert. Die CVGs zeigen Blickbewegungen, die höher und weiter rechts liegen als beim Durchschnitt der Probanden. Als Ursache ist ein Abweichen des Kopfes nach unten links nach dem Eichen anzusehen, was in unserem Verfahren zu einer Koordinatenverschiebung führt. Röntgenologisch war eine Abknickung zwischen dem 5. und 6. Halswirbel beobachtet worden. Der Patient nahm nach dem Eichen, wohl aus Ermüdung, wieder die schiefe Kopfhaltung ein. Entsprechend der hohen Kurzsichtigkeit konnte der Proband an den Plastiken nur gröbere Strukturen erkennen, obwohl sich seine CVGs an den Formen orientierten. So wurde Plastik 1 als Antenne, Plastik 2 als Pflug und Figur 4 als Doppelpflug oder Schnecke mit zwei Augen gedeutet.

CVG's Pat. 109

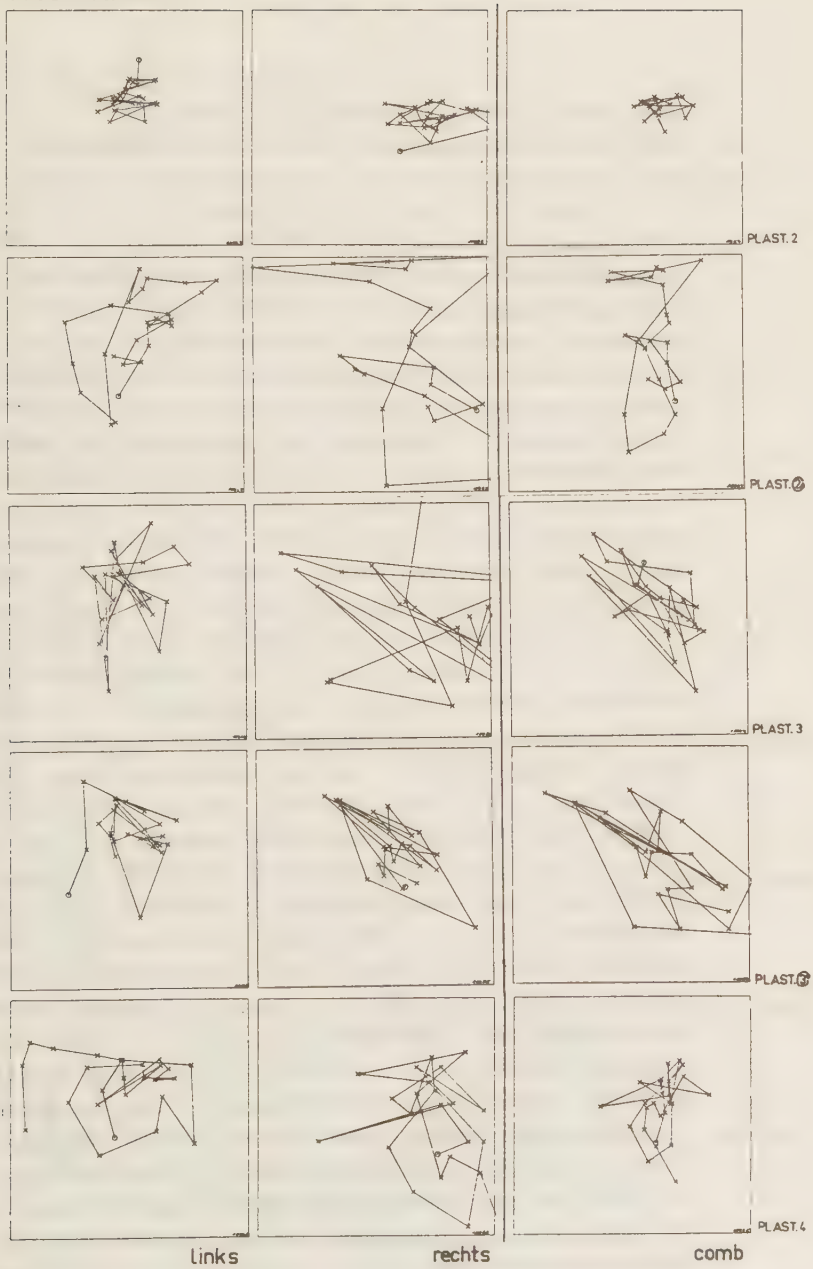


Abb.50

FALL 4 :
Pat. 94, Büroangestellte, geboren 1934, CVGs Abb.53
EOGs Abb. 51 und 52

Die Patientin leidet schon seit dem 20. Lebensjahr häufig unter Kopfschmerzen. 1974 hatte sie erstmals einen Kollaps mit stundenlangen anschließenden Bewußtseinsstörungen. Im letzten Jahr machte sich eine Ptosis, meist links, bisweilen auch rechts bemerkbar. Hinzu kam ein pelziges Gefühl perioral und an der Zunge. 4 Tage nach unserer Untersuchung wurde die Patientin bei Verstärkung der Symptome wegen Verdachts auf einen präpontinen Tumor operiert. Es konnte dann ein sehr großes, thrombosiertes Aneurysma der arteria basilaris entfernt werden. Die Patientin starb wenig später unter den Zeichen eines ischämischen Hirnstammschadens. Bei der Untersuchung bestand eine mäßig ausgeprägte Ptosis links, die das Fixieren des Eich-Stimulus mit dem linken Auge zumindest in der oberen Hälfte des vertikalen Eichwinkels unmöglich gemacht hat. Wir fanden bei der Patientin einen grobschlägigen, gleichgerichteten Horizontalnystagmus vor, der bei geöffneten Augen ausgeprägter war als bei geschlossenen. Dieser überlagerte sich auch den horizontalen Augenfolgebewegungen beim Eichen. Beim Betrachten der Plastiken ohne vorherige Drehung, d.h. bei freiwilligen Augenbewegungen, war davon nichts mehr zu bemerken (Abb. 51). Allerdings waren den EOG's beim Anschauen der Figuren direkt nach Linksdrehung (Plastik 2) und Rechtsdrehung (Plastik 3) deutlich Nystagmen in der horizontalen Spur aufgesetzt (Abb.52). Im Vergleich zum Gesamtkollektiv muß dies als klar von der Norm abweichend bezeichnet werden. Pathologisch muß man die Erscheinung insofern nennen, als es sich um das objektiv faßbare Korrelat eines Drehschwindels handelt, unter dem die Patientin litt und der durch Kopfdrehen, d.h. durch eine unseren Versuchsbedingungen analogen Situation, auslösbar war. Der postrotatorische Nystagmus war retinal nicht mehr hemmbar.

Im CVG sind diese Nystagmen nicht zu sehen, da sie mit 3 - 4 Hz in einem Frequenzbereich liegen, in dem aus Verfahrenstechnischen Gründen (Zeitraster; Glätten) keine Bewegungen mehr abgebildet werden. Vielmehr zeigen die CVG's nur die niederfrequenten, willkürlichen Bewegungen. Doch auch hier finden sich überschießende Bewegungen mit hoher Geschwindigkeit, die sich kaum an der Plastik orientieren. Die Patientin war normalsichtig sowie von durchschnittlicher Intelligenz und Motivation. Da trotzdem die Figuren nur schlecht erkannt wurden, müssen wir eine gestörte visuelle Wahrnehmung der Umwelt aufgrund der geschilderten okulomotorischen Störungen feststellen.

Pat. 94 Plastik 2

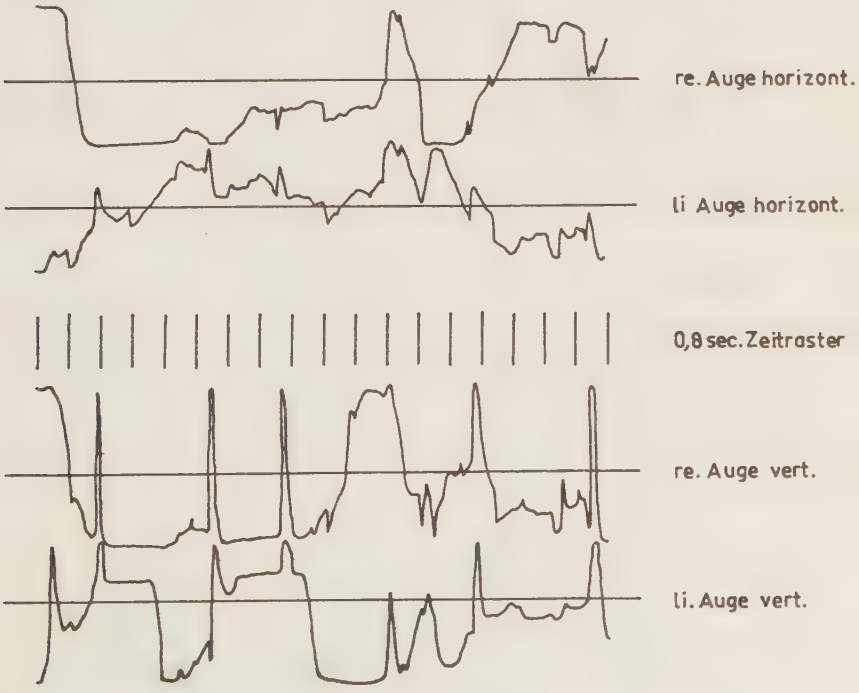


Abb. 51

Pat. 94 Plastik 2, nach Linksdrehung

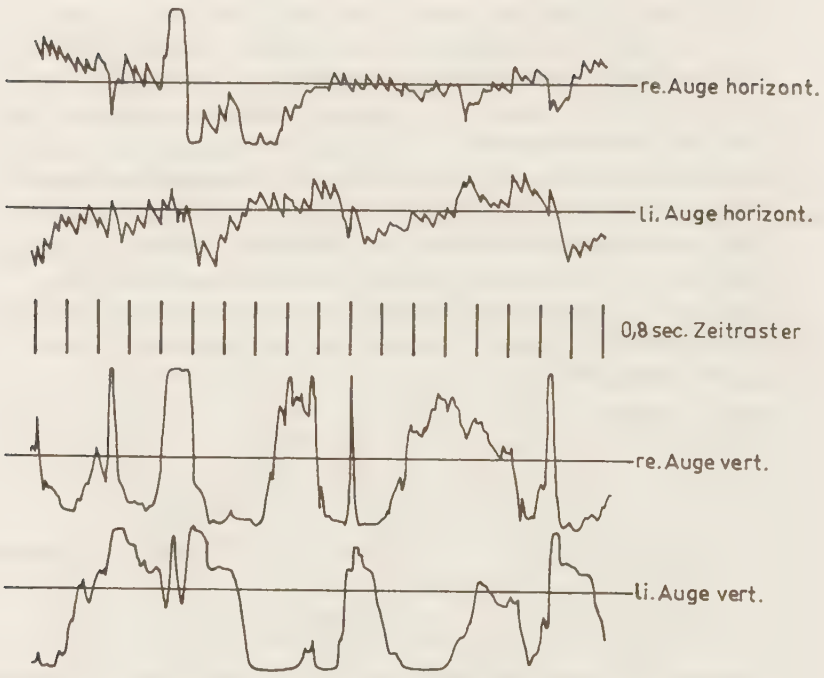


Abb. 52

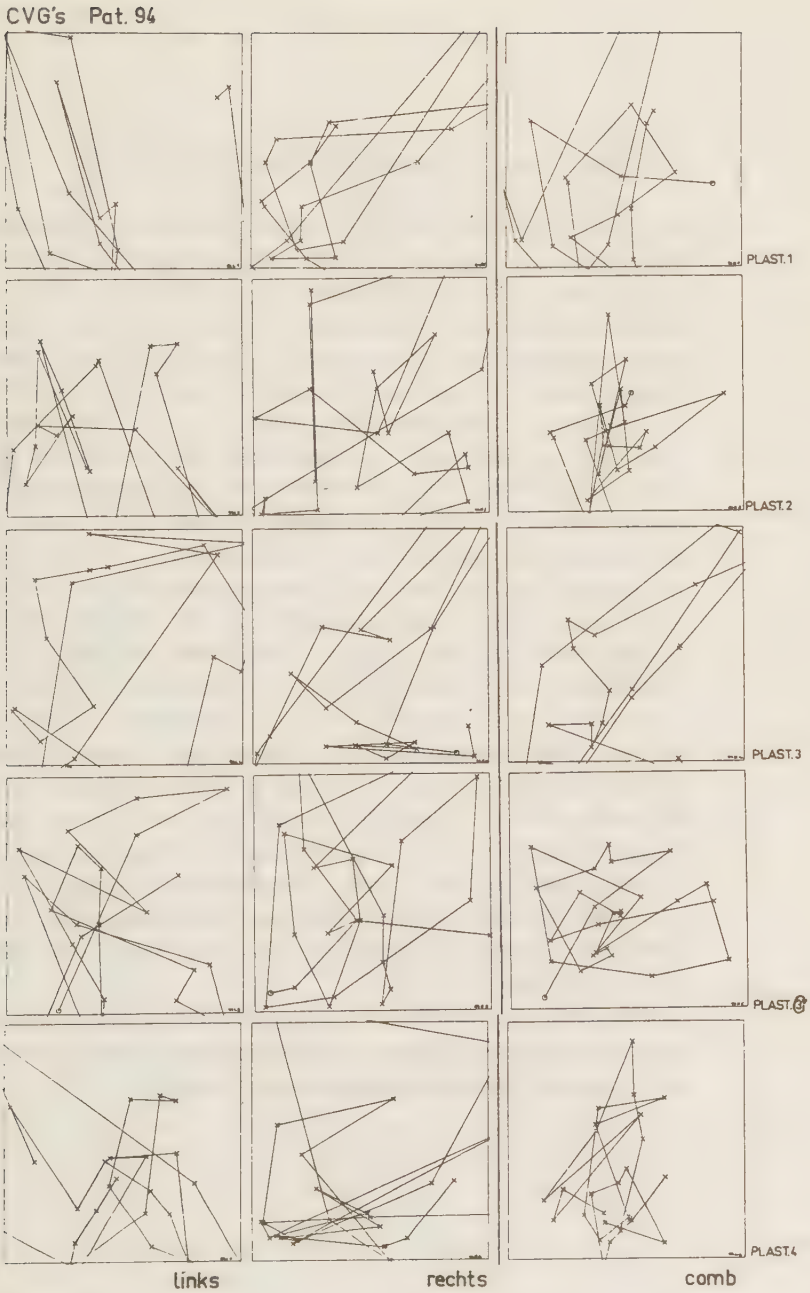


Abb.53

FALL 5 :
Pat. 128, Arbeiter, geboren 1918, CVGs Abb. 54 .

Bei dem Patienten war nach vorangegangener langdauernder Heiserkeit und Dysphagie 1976 ein supraglottisches Plattenepithel-Carcinom histologisch diagnostiziert worden, das bereits Lymphknoten-Metastasen aufwies. Es wurde noch 1976 eine Laryngektomie mit radikaler Neckdissection links und konservativer Neckdissection rechts sowie anschließende Bestrahlung vorgenommen. Der Patient gab anamnestisch gelegentlichen Schwindel an, der schon seit Jahren bestehe. Bei unserer Untersuchung fanden wir bei geschlossenen Augen einen spontanen Vertikalnystagmus von 2,5 Hz und einen gegenschlägigen Horizontalnystagmus mit geringerer Amplitude, der mit den Vertikalausschlägen genau phasengleich war. Die Nystagmussignale in den beiden Horizontalspuren müssen als artefiziell bezeichnet werden. Bei geöffneten Augen konnte dieser Nystagmus völlig unterdrückt werden und er überlagerte sich (im Gegensatz zu Fall 4) nicht den Augenbewegungen beim Betrachten der Plastiken. Auch zeigen die CVG's (Abb.54) stabilisierte Abtastbewegungen, die sich an den Plastiken orientieren. Ebenso ist die okuläre Motorik nach vorhergehender Drehung gut koordiniert. So liegt bei keiner Drehrichtung höhere Aktivität in horizontaler Richtung vor. Der Proband war kooperativ, von normaler Intelligenz und beschrieb die Plastiken erwartungsgemäß sehr genau.
Anders als in Fall 4 lag also hier ein Spontannystagmus vor, der bei geöffneten Augen zentral gehemmt wurde und nicht zu visuellen Wahrnehmungsstörungen führte.

CVG's Pat. 128

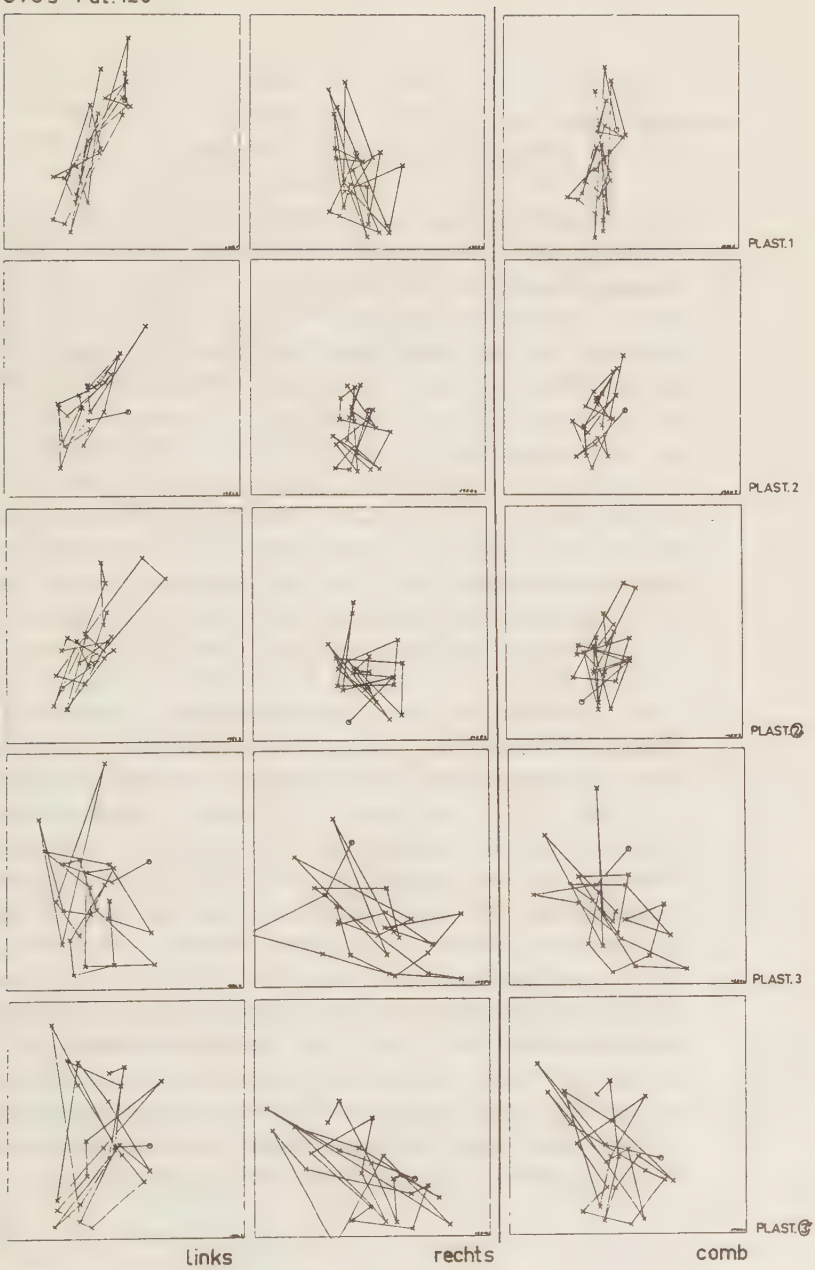


Abb. 54

FALL 6 :
Pat. 137, Maler, geboren 1942, CVGs Abb. 55 .

Bei diesem Patienten lag seit längerem ein oral behandelter Diabetes und ein Hypertonus von 210/90 vor. Vor 2 Wochen bemerkte seine Frau an ihm einen torkelnden Gang, er selbst fühlte sich etwas "verworren" und klagte über Doppelbilder, die sich im Laufe des Tages, besonders nach Anstrengungen verstärkten. Schließlich kam es zur kompletten äußeren Ophtalmoplegie, die in Verbindung vorübergehender Ataxie an ein Fischer-Syndrom denken ließ. Durch umfangreiche Untersuchungen konnte dies jedoch ebenso ausgeschlossen werden wie eine Myasthenie, eine okuläre Myositis oder eine Hirnstamm-Blutung. Die Augen waren in Mittelstellung fixiert und konnten weder aktiv noch reflektorisch bewegt werden. Die Äthiologie ist bis heute unbekannt, doch konnte unter hochdosierter Cortisonbehandlung eine leichte Besserung erzielt werden. Bei unserer Untersuchung zeigte sich bereits eine nachlassende Bewegungseinschränkung, besonders beim Heben und Senken des Blickes. Es gelang aber nur einige Male, offensichtlich unter größter Willensanstrengung, dem Stimulus in der Vertikalen zu folgen. In waagerechter Richtung konnte der Stimulus nur über eine sehr kleine Strecke verfolgt werden. Beim Betrachten der Plastiken bilden die Kombinations-CVG's die Reizmuster gut ab, während die CVG's der Augen im einzelnen typische Dissoziationen und große Horizontalsprünge zeigen (Abb.55). Die gut zentrierten Kombinationen deuten auf die Symmetrie der rechts/links Dissoziationen hin. Die weit auseinandergezogenen Linien in den CVG's des rechten und linken Auges bedeuten aber keine exzessiven gegenschlägigen Horizontalbewegungen. Sie erklären sich vielmehr daraus, daß der Patient Vertikalbewegungen im Gegensatz zu Horizontalbewegungen wieder

besser ausführen konnte. Die artifiziellen Gegenschläge in den Horizontalableitungen, die bei Vertikalbewegungen auftraten, hatten höhere Amplituden als die Eichzacken der horizontalen Tracking-Bewegung, die ja nicht vollständig ausgeführt werden konnte. Über die sehr kleinen spezifischen Eichfaktoren für die Horizontalspuren werden dann die Artefakte im CVG sehr groß. Sie lassen sich aber über die Kombinations-CVG's eliminieren.
Wie zu erwarten konnte der Proband Farbe und Material der Plastiken angeben, jedoch nicht die gesamte Struktur erfassen.

CVG's Pat. 137

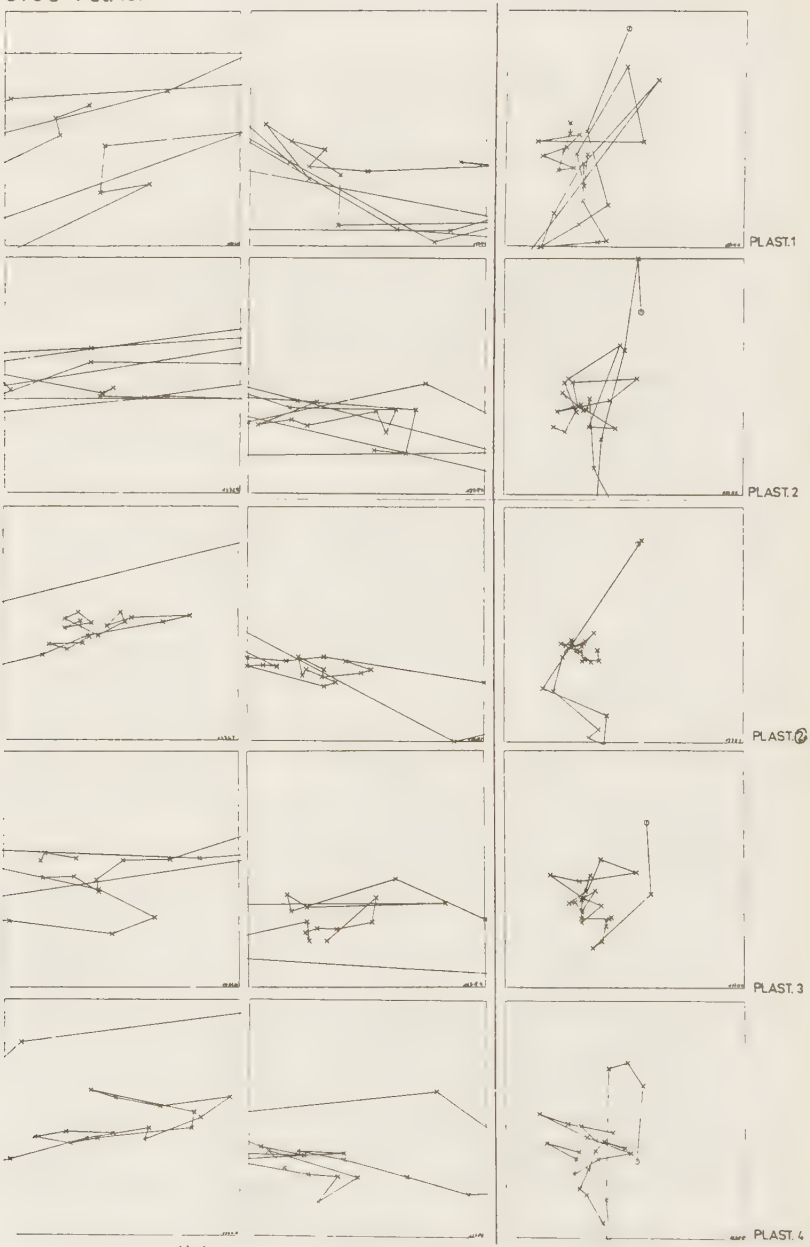


Abb.55

FALL 7 :
Pat. 40, Raumpflegerin, geboren 1935, CVGs Abb. 56 .

Die 43-jährige Patientin hatte ein osteoplastisches Meningeom in der mittleren Schädelgrube entwickelt, das durch Druck- und Zugwirkung auf den Fasciculus Opticus eine Erblindung des linken Auges bewirkt hatte. Außerdem trat der linke Bulbus stark hervor. Der Tumor war bestrahlt worden und der Druck auf das linke Auge ließ dadurch nach. Bei unserer Untersuchung war die linke Gesichtshälfte ödematös geschwollen. Beim Eichen verfolgten beide Augen den Stimulus genau synchron über den horizontalen und vertikalen Winkel. Das linke Auge zeigt allerdings wesentlich kleinere elektrische Amplituden. Da die Amplituden in allen Richtungen kleiner sind, nehmen wir eine geringere bioelektrische Aktivität des schon seit längerer Zeit erblindeten linken Auges an. Da diese geringere Aktivität durch unsere spezifischen Potentialdifferenzen ausgeglichen wurden, zeigen die CVG's des linken Auges keine kleineren Bewegungen an als die des rechten. Die Motorik des erblindeten Auges ist offensichtlich unverändert erhalten geblieben. Die Patientin bewies nach der Untersuchung durch genaue Aussagen ein gutes visuelles Erfassen der vorgesetzten Muster.

CVG's Pat. 40

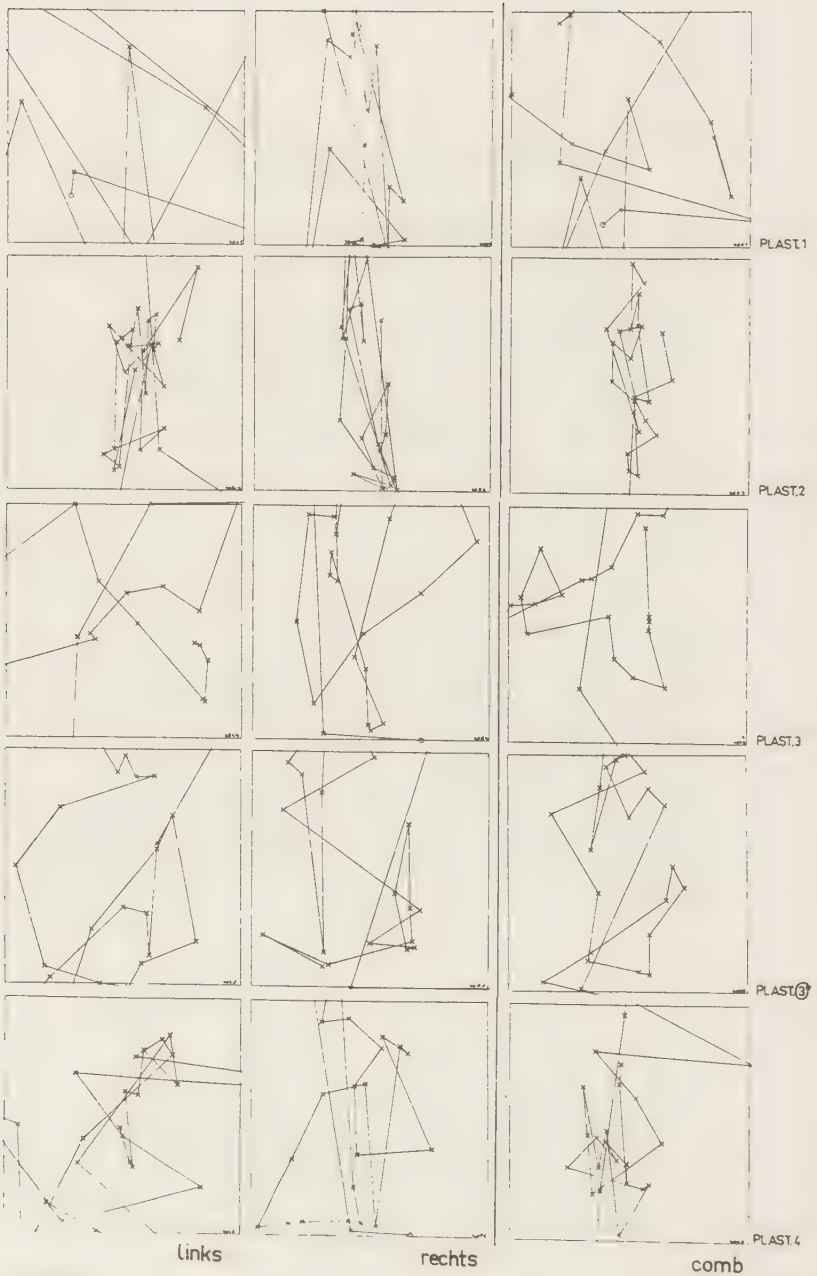


Abb.56

FALL 8 :
Pat. 88, Näherin, geboren 1952, CVGs Abb. 57.

Die Patientin befand sich wegen einer Tympanoplastik in der Klinik und wies keine anamnestischen Merkmale auf, die abnorme okuläre Bewegungsmuster hätten vermuten lassen. Die Probandin zeigte keinen Spontannystagmus, dafür aber eine große okuläre Unruhe bei geschlossenen und geöffneten Augen. Die Eichstimuli wurden gut mitverfolgt, in den CVGs (Abb. 57) sieht man aber einzelne große Blicksprünge beider Augen, die nicht so symmetrisch wie bei anderen Patienten sind und deshalb auch nicht ein Kombinations-CVG ergeben, das den Plastiken genau entspricht. Nach der Drehung findet sich kein Unterschied in der motorischen Koordination. Wir stellen die Patientin vor, weil sie trotz dieser einzelnen groben und überschießenden Augenbewegungen nicht über Schwindel oder sich bewegende Seheindrücke klagte und als Beweis für gutes visuelles Erfassen die Plastiken nach 20 Sekunden genau beschreiben konnte. Genaues Betrachten der Kombinations-CVGs zeigt, daß trotz einzelner überschießender Bewegungen die Punktdichte im Bereich der Plastiken am höchsten konzentriert ist. Der Gesamteindruck der CVGs wird durch einzelne Ausreißer und ihre langen Verbindungslinien stark verändert.

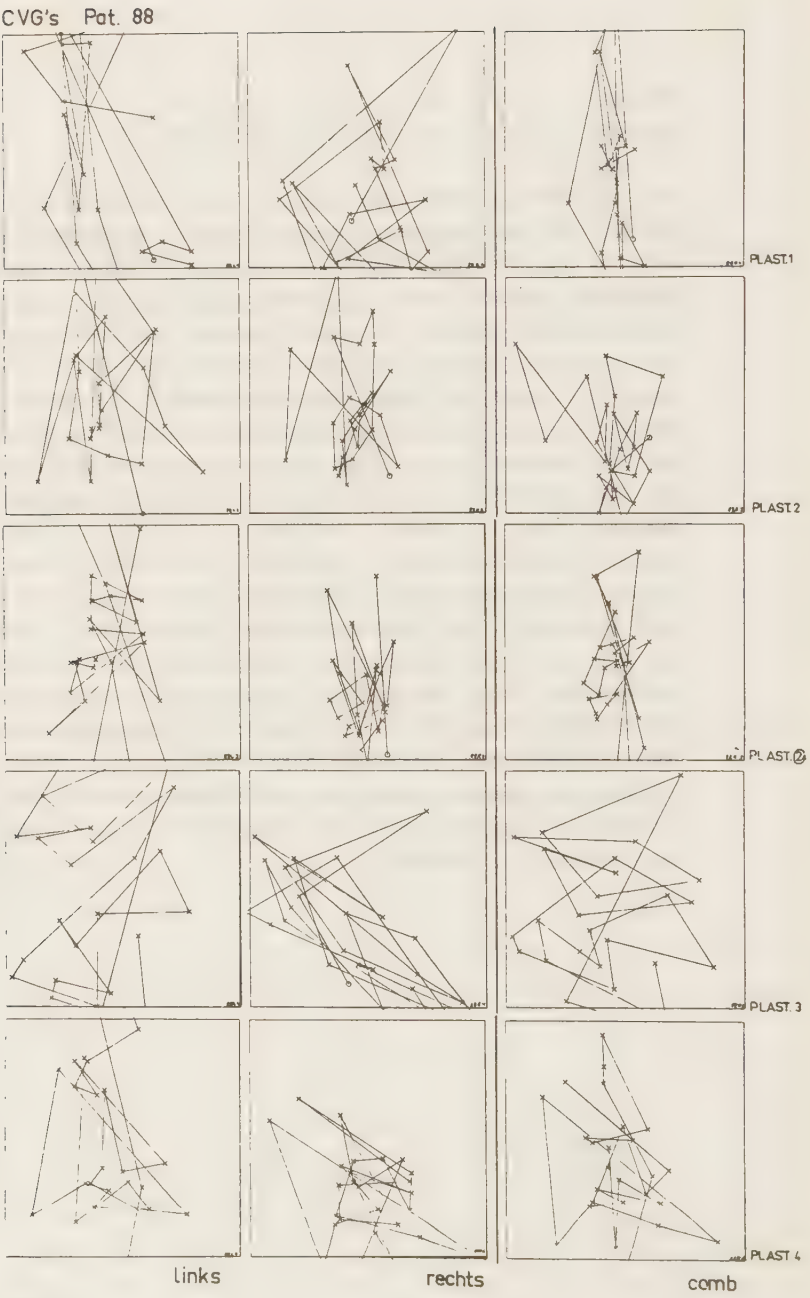

CVG's Pat. 88
PLAST.1
PLAST.2
PLAST.2a
PLAST.3
PLAST.4
links
rechts
comb

Abb.57

FALL 9 :
Pat. 142, Bundeswehrsoldat, geboren 1956, CVGs Abb. 59, EOG Abb. 58.

Bei diesem Patienten möchten wir eine ungewöhnliche Art von Artefakten vorstellen. Der Proband hatte vor drei Monaten bei einem Unfall das rechte Auge verloren. Es mußte samt den äußeren Augenmuskeln enukleiert werden. Wir haben trotz des fehlenden Auges die Elektroden in den üblichen, beschriebenen Positionen angebracht. Das linke Auge zeigte normale Augen-Folgebewegungen beim Eichen (Abb. 58). An den Elektroden um die leere rechte Orbita herum waren in senkrechter Richtung sehr kleine, mit den linken Ableitungen gleichgerichtete Potentialverläufe abgreifbar. Diese stammten offensichtlich von dem elektrischen Feld des erhaltenen linken Auges und waren nur wegen der größeren Entfernung kleiner. In der Ableitung bei Horizontalbewegung waren von den rechts angelegten Elektroden überraschend hohe elektrische Nystagmussignale ableitbar, die denen des linken Auges entgegengesetzt waren. Auch diese werden offensichtlich noch vom elektrischen Feld des linken Auges verursacht. Der Grund für die Gegensinnigkeit liegt in der Polung der 3 Horizontalelektroden. Aufgrund der kleineren spezifischen Potentialdifferenzen, die sich für die Aufzeichnungen um das rechte Auge errechneten, werden aus den Potentialschwankungen um die leere rechte Orbita im CVG normal hohe Ausschläge, die in vertikaler Richtung mit denen des linken Auges gleichsinnig verlaufen, jedoch in den Horizontalbewegungen entgegengesetzt gerichtet sind. Die Gegenschläge in den beiden Horizontalspuren des EOG unterscheiden sich in diesem Fall von den üblichen, beschriebenen Artefakten in dieser Spur. Sie treten nämlich, im Gegensatz zu diesen, unabhängig von Vertikalbewegungen auf.

Pat. 142 horizontale und vertikale Spuren nicht simultan aufgezeichnet

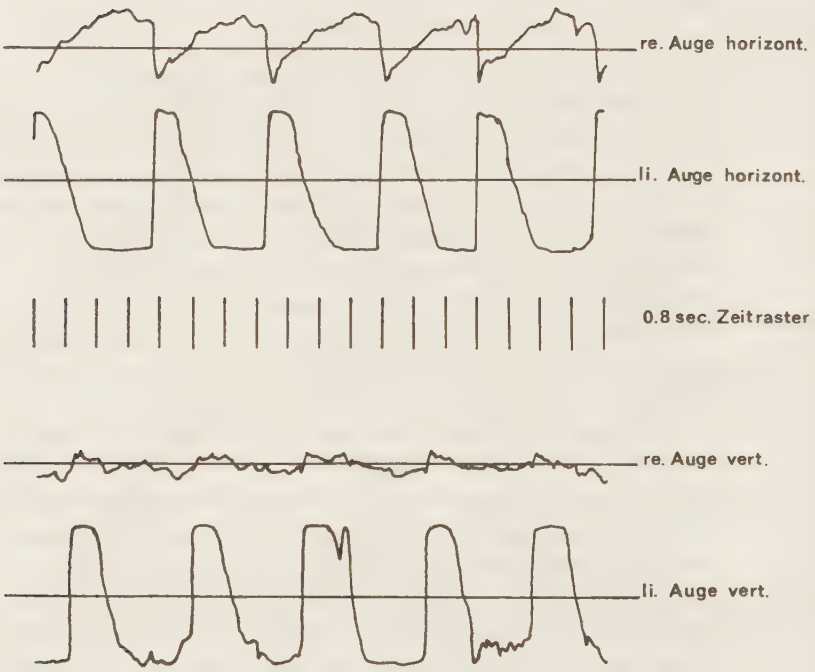


Abb. 58

CVG's Pat. 142

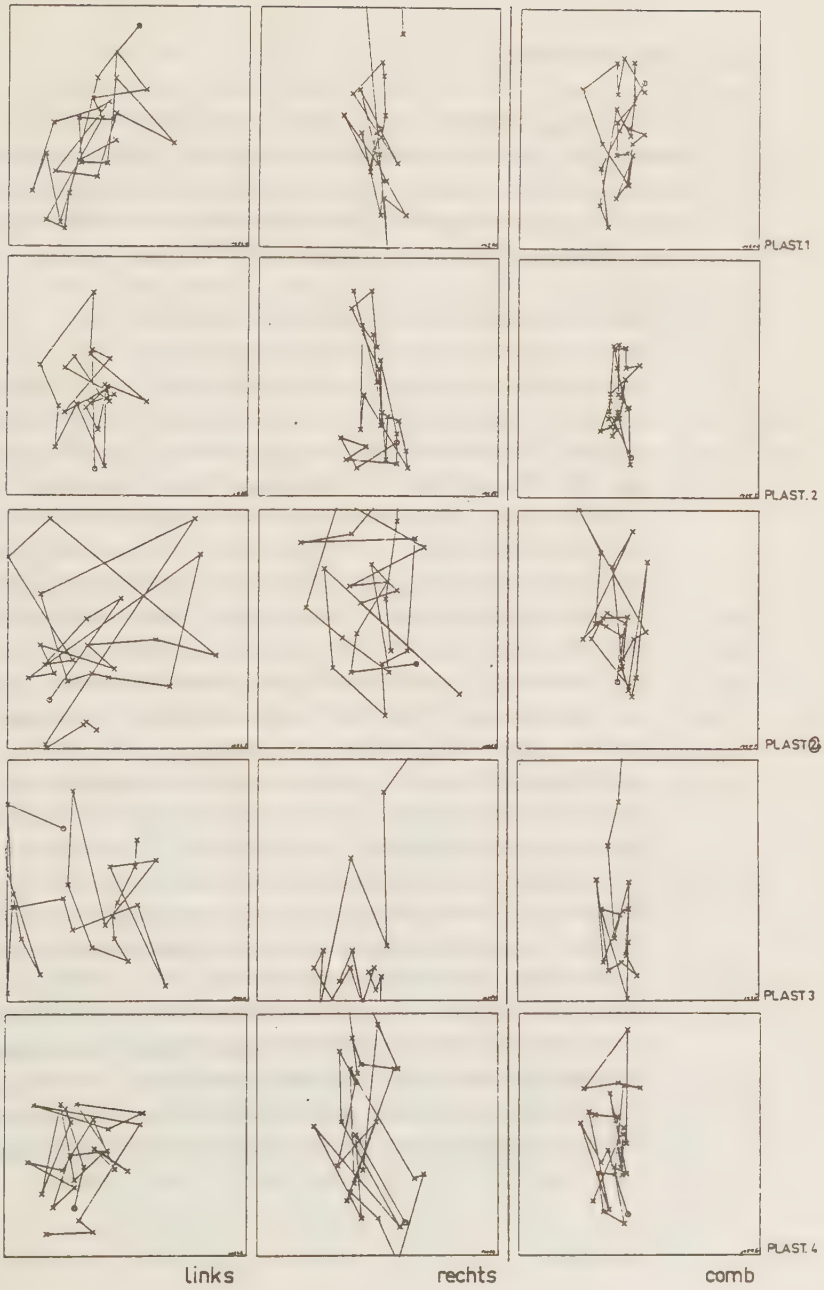


Abb.59

FEHLERBETRACHTUNG :

Bei allen genannten Ergebnissen müssen wir immer berücksichtigen, daß sie durch ein indirektes Aufzeichnungsverfahren zustande kommen, bei dem mehrere mögliche Fehlerquellen hintereinander geschaltet sind. Wir wollen hier kurz zusammenfassen, worin die methodischen Fehler liegen.

1) Elektrisches Signal und Bulbusstellung:
Das in den Elektroden abzugreifende Ur-Signal ist abhängig von der Stellung der Bulbi, vom corneo-retinalen Potential, von der Art der Ausbreitung des elektrischen Feldes und von der Position der Elektroden. Darüber hinaus ist der Elektroden-Hautwiderstand von Bedeutung, dessen jeweils sehr unterschiedliche Höhe in unserem Verfahren ausgeglichen wurde. Wir haben bei 30 Probanden seine Änderung an allen sieben Elektroden während der Untersuchungszeit mit ca. 4% ermittelt. Andere Untersuchungen kommen ebenfalls auf praktisch konstante Werte, so daß von dieser Seite sicherlich kein nennenswerter Fehler zu erwarten ist. Was das corneo-retinale Potential betrifft, schätzen wir seine Veränderung während des dreiminütigen Drehens bei geschlossenen Augen nach den Ergebnissen von AANTAA auf maximal 1o%. Um diesen Betrag könnte also das CVG und das EOG dann verkleinert sein. Es handelt sich um eine gleichmäßige Verkleinerung aller Bewegungen. Unterschiede des corneo-retinalen Potentials zwischen einzelnen Personen oder zwischen rechtem und linkem Auge, die wesentlich größer sein können, werden durch den Faktor der spezifischen Potentialdifferenz voll ausgeglichen. Zu schwereren Fehlern kann die unsymmetrische Ausbreitung des elektrischen Feldes oder, was prinzipiell das gleiche ist, die unkorrekte Position von Elektroden führen. Zu große Entfernung zweier gegenüberliegender

Elektroden,in denen dann zu kleine Potentialdifferenzen ableitbar wären, würden wiederum durch die spezifische Potentialdifferenz ausgeglichen. Dagegen kann es zu erheblichen Fehlern führen, wenn die Achse eines Elektrodenpaares nicht rechtwinklig zu der Achse steht, um die der Bulbus bei der aufzuzeichnenden Bewegung rotiert, bzw. wenn die Feldlinien im Gewebe so verzerrt sind, daß es denselben Effekt hat. Dies führt dazu, daß die EOGs und CVGs, die für jedes Auge getrennt aufgezeichnet worden waren, wegen artefizieller Horizontalausschläge nicht bewertbar waren. In den Kombinations-CVGs (Zyklopenauge) sind diese Artefakte eliminiert. Bei Betrachtung der EOGs muß aber immer damit gerechnet werden, daß synchron-gegensinnige Ausschläge, die in bestimmter Relation zu den Vertikalausschlägen stehen, artefiziell sind.

2) Elektrische Eingangsspannung und aufgezeichnetes Signal: Die größte Verfälschung trat sicherlich bei der Verstärkung über die Wechselstromverstärker auf. Die optokinetischen Eichnystagmen hatten eine sehr niedrige Frequenz von ca. 0,4 Hz, die Länge einer Phase liegt also weit über der Zeitkonstanten des Gerätes, und die spezifische Potentialdifferenz, die aus den zu kleinen Amplituden errechnet wurde, ist für alle die Bulbusbewegungen zu klein, die kürzer oder schneller sind als die Eichbewegungen. Diese werden dann als relativ zu groß im CVG wiedergegeben. Die Amplitude des elektrischen Eingangssignals war außerdem vielfach so hoch, daß sie nach der Verstärkung in den Bereich nicht mehr linearer Aufzeichnung des Schreibers fiel (Abb. 5). Dieser Effekt addiert sich zu dem durch den Wechselstromverstärker. 14 17
Es fällt sehr schwer, hier die Größenordnung für den Fehler abzuschätzen, da sie von Amplitude, Geschwindigkeit und Ausgangsposition eines eingehenden Impulses abhängt. Der Fehler ist null für Bulbusrotationen, die

Unter allen bisher angewendeten Methoden zur binokulären Aufzeichnung von Augenbewegungen hat YARBUS vor über zehn Jahren nicht nur die genaueste entwickelt, sondern diese auch unter verschiedensten Versuchsbedingungen angewandt. Die dabei gefundenen allgemeinen Prinzipien der Okulomotorik sind seitdem nirgends widerlegt, sondern allenfalls bestätigt, präzisiert oder in andere Theorien eingebaut worden. Mit seinem empfindlichen optischen Registriersystem konnte er die Bewegungen nämlich bis auf Bruchteile von Winkelminuten und zeitlich - wie bei Filmgeschwindigkeiten von maximal 5m/sec. zu erwarten - bis auf 1/1000 sec. genau auflösen. Aber auch längeres Verharren der Bulbi in irgend einer Stellung konnte er genau abbilden, ohne daß seine Registrierung zur O-Linie zurückgekehrt wäre, wie das bei unserer elektrischen Aufzeichnung über AC-Verstärker der Fall ist. Da wir aber wegen eines gewissen Rauschpegels nicht genauer als auf ca. 2 Grad aufzeichnen können und wegen der nötigen digital-analogen Weiterverarbeitung der Signale Bewegungsabläufe unterhalb des 0,8 sec.-Zeitrasters nicht erfassen, beschränken wir uns in unseren Betrachtungen auf die Makrobewegungen des Auges. Mittels der Photo-Elektronystagmographie, wie sie von DECHER angewandt wurde, können auch kleinere Bewegungen erfasst werden. Dies ist jedoch nur numerisch (Anzahl der Nystagmen) nicht aber quantitativ möglich und macht die Methode für die Okulographie ungeeignet.

Bei ruhig gehaltenem Kopf und unbewegtem Objekt kann sich das Auge nur in einem von 2 Stadien befinden: in dem der Fixation oder in dem des sprunghaften Wechsels von einem Fixationspunkt zu einem anderen. Langsames Driften von einem Punkt zum anderen ist bei statischen Bildern nicht möglich. Eine subjektiv als kontinuierlich empfundene Blickbewegung besteht in Wirklichkeit aus einem Wechsel von nicht wahrgenommenen Sakkaden und Fixationsintervallen. In der Fixation, während der die Augen als unbewegt empfunden werden, treten physiologischerweise noch andere Bewegungen auf. Das ungerichtete Driften der optischen Achsen innerhalb eines sehr kleinen Winkels und der hochfrequente Augentremor von wenigen Winkelminuten Amplitude. Die beiden Bewegungsarten bewirken nicht, daß die Projektion des fixierten Punktes die Fovea centralis

verlässt. Diese Phänomene liegen außerhalb des räumlichen und zeitlichen Auflösungsvermögens unserer Apparatur. Dagegen können wir die vor allem in längeren Fixationsperioden häufig auftretenden unwillkürlichen Sakkaden aufzeichnen. Diese wurden aber wegen des groben Zeitrasters(0,8 sec.) und des nötigen Glättens der Kurven nicht ins CVG übernommen. Dieses läßt somit keine Aussage über die u.a. von KORNHUBER angegebenen Mikrobewegungen der Augen (Sakkaden-Drift-Pendel) zu.

Außer den für uns unterschwelligen Drifts und dem Tremor sind nach YARBUS alle Bewegungen in Richtung und Amplitude binokulär koordiniert. Abb. 60 zeigt die Vertikalaufzeichnungen beider Augen bei freiem Betrachten einer Plastik. Nach YARBUS ist die Dauer der Fixationsintervalle sehr variabel und hat ihr Maximum bei 0,3 sec. bis 0,8 sec.. Die Abb.60 zeigt Fixationsperioden verschiedener Dauer, die meist von Sakkaden überlagert sind. Es fällt auf, daß alle Aufzeichnungen der Fixationsperioden zur Mitte hin abfallen. Dies ist auf die O-Liniendrift des Registriergeräts mit AC-Verstärkung zurückzuführen. Der Wechsel der Fixationspunkte erfolgt stets mit sehr hoher Winkelgeschwindigkeit, das heisst die gezackten Plateaus sind durch beinahe senkrechte Linien verbunden. Dies deckt sich mit dem Befund von YARBUS, daß das Auge über 95 % der Zeit in Fixation verbringt, während der Wechsel der Fixationspunkte sehr schnell erfolgt.

Wie wir feststellen konnten, sind die dissoziierten Horizontalausschläge in unseren CVG's Artefakte. Die Vertikalaufzeichnungen beider Augen sind in unseren EOG's in Amplitude und Richtung weitgehend synchronisiert. In den Horizontalspuren können wir dies wegen der Artefakte nicht feststellen, jedoch wurden in anderen Untersuchungen über freie Blickbewegungen keine Dissoziationen festgestellt. YARBUS stellt fest, daß der oben beschriebene Augentremor, sowie die Drifts die einzigen binokulär nicht koordinierten Bewegungen sind. Beide sind aber für unser Registrierverfahren unterschwellig. Bei allen anderen freien Blickbewegungen, sofern sie sich auf Reizmuster in der Frontalebene beziehen, sind die Bewegungsmuster beider Augen identisch. Augenbewegungen beim Betrachten dreidimensionaler Objekte zeigen gegenüber denen bei flachen

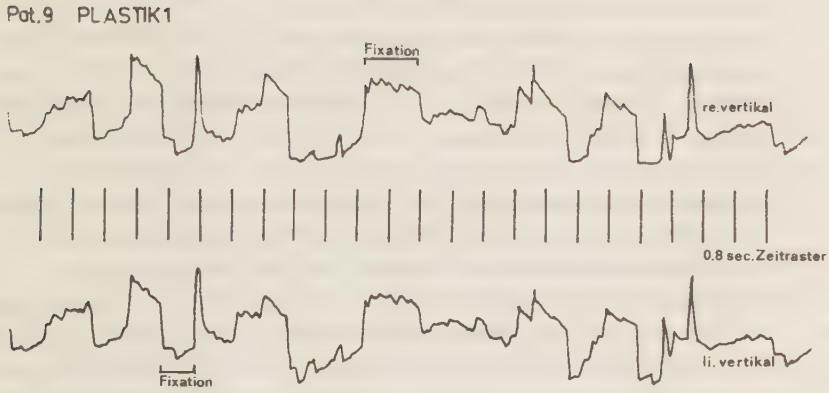

Pot.9 PLASTIK1
Fixation
re.vertikal
0.8 sec.Zeitraster
Fixation
li. vertikal

Abb.60

Bildern nur eine zusätzliche Komponente, nämlich die Konvergenz- und Divergenzbewegungen der optischen Achsen beim Einstellen auf näher oder ferner gelegene Punkte. Die beiden Achsen schneiden sich dabei auf der Längsachse des Zyklopenauges im fixierten Punkt; über das rein geometrisch erforderliche Maß überschießende Konvergenz- oder Divergenzbewegungen kommen nicht vor. Die geometrisch maximal nötigen Vergenzbewegungen eines Auges sind bei unseren Versuchsbedingungen 0,41 Grad. Der Winkel der beiden Augenachsen untereinander bewegt sich dann zwischen 2.86 und 2.04 Winkelgrad. Diese kleinen Differenzen beider Augachsen sind in unseren CVG's nicht bemerkbar, zumal diese die erwänten Artefakte von weit größerem Ausmaß aufweisen. Deshalb beschränken wir uns auf die in einer Frontalebene projezierten Wege der Fixationspunkte, die von den beschriebenen Kombinations-CVG's abgebildet werden.

YARBUS hat ähnlich wie wir Augenbewegungen bei freier Untersuchung von komplexen zwei- und dreidimensionalen Strukturen aufgezeichnet. Dabei hat er die Untersuchungsbedingungen in weiten Grenzen variiert und dabei wesentliche, das zeitliche und räumliche Bewegungsmuster beeinflussende Parameter beschrieben. Der wesentliche Unterschied zu unserem Verfahren besteht jedoch in der kontinuierlichen Aufzeichnung, durch die bei ihm eine genaue Unterscheidung zwischen Fixationsperioden und ihrer Lokalisation und den sie verbindenden großen Sakkaden möglich wird. Diese Information ist in unseren EOG's noch enthalten, kann jedoch vom Untersucher in dieser Form nicht direkt bewertet werden, da es kaum möglich sein wird, sich aus 4 Spuren ein integriertes zeitlich/räumliches Bild des binokulären Bewegungsmusters zu machen und dies auch noch in Beziehung zu den betrachteten Plastiken zu setzen. Bei der digitalen Abbildung der elektro-okulographischen Aufzeichnungen in Zahlenreihen ging dann die Unterscheidungsmöglichkeit zwischen Blicksprüngen und Fixationsperioden verloren. Jedes Kreuz im CVG markiert nur noch den wahr-

scheinlichsten Ort, auf den eine Fixation während eines Zeitintervalls von 0,8 sec. konzentriert war. Nachdem es nur wenige Fixationsperioden von mehr als 0,8 sec. gibt, fallen sehr selten 2 Punkte zusammen. Gab es in einem solchen Zeitintervall aber 2 verschiedene Fixationspunkte, dann liegt das Kreuz im CVG zwischen diesen beiden.YARBUS [30] hat die für den Wechsel der Fixationspunkte benötigte Zeit mit 5 % der Gesamtdauer der Betrachtung berechnet.In Abb.60 ist auch ohne genaue Messungen zu erkennen,daß der Zeitbedarf für die grossen Blicksakkaden minimal ist.Man kann deshalb davon ausgehen,daß jedes Kreuz im CVG die wahrscheinliche Stelle markiert,auf die der Blick durchschnittlich 0,8 sec. gerichtet war,bzw. eine Stelle,die mitten zwischen zwei oder mehr insgesamt 0,8 sec. lang fixierten Punkten liegt. Auf der Strecke zwischen zwei Kreuzen findet wahrscheinlich [3 12] keine Fixation statt.Die Dichte der Kreuze ist also ein Maß dafür,wie lange ein bestimmtes Feld fixiert wurde.Die Aufzeichnungen von YARBUS sind unseren CVG's sehr ähnlich, [30] jedoch deutet dort jede Verdichtung der Spur, meist mit Richtungswechsel verbunden, einen Fixationsprozess und nie die Mittelposition zwischen 2 Fixationspunkten an. Eine Abfolge der Bewegung wird dabei erkennbar, doch fehlt der absolute Zeitfaktor. Verdichtungen kommen durch häufiges Anlaufen eines Punktes zustande, während seltener, aber zeitlich intensiver fixierte Stellen nicht kenntlich werden. Immerhin streut die Dauer der Fixationsperioden zwischen 0,25 sec. und 2 sec..

Neben der problemlosen Anwendbarkeit bei einem großen Probandenkollektiv hatten wir noch den Vorteil, die gesamten Informationen gespeichert zu haben und in beliebiger Gruppierung und Form sichtbar machen zu können. So war es zum Beispiel möglich, die oben beschriebenen Artefakte (Horizontaldissoziationen) zu beseitigen und Kombinations-CVG's oder die Punktwolken verschiedener Probandengruppen zu plotten.

Betrachten wir einige repräsentative CVG's (Abb.24-28) im Vergleich mit den Plastiken (Abb.1,2), dann können wir feststellen, daß sich die Hauptrichtung der großen Blicksprünge in den Kombinationsbildern zwar grob an der größten Ausdehnung der Figuren(besonders Plastik 1 und 3) orientieren, aber sonst kein einheitliches Bewegungsmuster des Zyklopenauges vorliegt. Auch ist kein allen Probanden gemeinsames Prinzip der Dichteverteilung der Kreuze zu erkennen. Dies stimmt mit den Beobachtungen an allen ca. 3 300 angefertigten CVG's überein.

Die Bewegungsmuster bei YARBUS waren ebenfalls individuell 30
sehr unterschiedlich. Gemeinsamkeiten konnte er vor allem beim Betrachten von Gesichtern feststellen, bei denen Augen und Mund besonders intensiv fixiert wurden. Es konnte klar gezeigt werden, daß das Ausmaß der Fixation nicht durch Farbe, Helligkeit, Kontrastreichtum bzw. -armut oder sonstige rein strukturellen Eigenschaften des visuellen Musters beeinflußt wird, sondern sich an den Bezirken orientiert, die zur Erfassung des Gesamtbildes bzw. der Plastik die vermeintlich wichtigsten Informationen liefern. So konnte bei jeweils derselben Versuchsperson beim Betrachten desselben Bildes völlig verschiedene Bewegungsmuster beobachtet werden, wenn das Bild in 2-tägigen Abständen immer wieder unter verschiedener Fragestellung vorgelegt wurde. Das visuelle Abtasten ist also von dem manuellen Palpieren eines Gegenstandes zu unterscheiden, da es sofort zur Konzentration der genauesten Wahrnehmungsmöglichkeit, d. h. der Projektion in der Fovea centralis, auf ausschließlich die wesentlichsten 23
Bereiche kommt. Dabei spielt sicherlich die Erfahrung wichtiger Seheindrücke eine wesentliche Rolle. Schon extrafoveal 27
flüchtig wahrgenommene Seheindrücke könnten dann über Assoziationen mit den gespeicherten visuellen Mustern zur sofortigen zentralen Einstellung wichtiger Bildelemente führen. Das okuläre Bewegungsmuster reflektiert den Denkprozess der

Versuchsperson beim Betrachten von Bildern oder Plastiken. Die Gedankensprünge werden durch die Bewegungen des Fixationspunktes nachvollzogen. Schon daraus ist mit individull stark variierenden Bewegungsmustern zu rechnen. Diese Feststellung enthält aber auch den Hinweis auf Ähnlichkeiten, die je nach der Art des vorgelegten visuellen Reizmusters, mehr oder weniger stark auftreten werden. So gibt es natürlich Bilder oder Plastiken, die so stark mit allgemeinverständlichen, emotionalen Inhalten beladen sind, daß sich bei jedem Probanden ähnliche Gedankengänge aufdrängen und in den Blicksprüngen wiederspiegeln. Es ist auch möglich, diese einheitlichen Muster durch Fragestellungen zu stören, die das Interesse auf andere, zunächst weniger wichtige Details lenken.
Bei unseren Versuchen waren die Probanden aufgefordert worden, innerhalb von 20 sec. "die Plastiken zu erkennen" und so zu untersuchen, daß sie am Ende des Blicktestes "möglichst genaue Angaben" darüber machen konnten. Die grobe Richtung für das Interesse der Versuchsperson war dadurch in gewisser Weise vorgegeben, es bestand ein Leistungsdruck. Der Proband konnte es sich nicht leisten, Zeit mit der genauen Untersuchung speziell für ihn interessanter Bereiche zu vergeuden. Die Plastiken waren aus Baustahl und Kugellagerringen zusammengeschweißt. Ein künstlerisch völlig uninteressierter Schweißer hätte wahrscheinlich nicht versucht, wie es seinem eigentlichen Interesse entsprochen hätte, die Schweißnähte daraufhin genauer zu betrachten, in welcher Technik und wie sauber sie wohl gezogen worden waren. Er hätte nämlich dann riskiert, den Sinn der Plastiken in der kurzen Zeit nicht zu erkennen und damit den gesetzten Anforderungen nicht gerecht zu werden.
Das unseren Anforderungen adäquate Bewegungsmuster kann nur ein grobes Scanning sein. Es gab an den Plastiken keine speziellen Bereiche, die dem Erkennen der Gesamtheit erhöhten Widerstand entgegengesetzt und damit fokal Interesse angezogen hätten. So kommt es auch wie in den CVG's aus Abb.24-28

zur unspezifischen Verteilung der Fixationspunkte. Ein hervorragendes Mittel, um die durchschnittliche Verteilung aller Fixationspunkte eines größeren Probandenkollektivs auf einer Frontalprojektion der Plastiken sichtbar zu machen, sind die beschriebenen Punktwolken. Ihre Dichte ist ein Maß für das einem Bereich zugekommene Interesse und für die Zeit, die sich der Blick durchschnittlich dort aufhielt.
Die Punktwolken zeigen im allgemeinen in der Mitte die höchste Konzentration und liegen nicht gleichmäßig dicht über den Konturen der Plastiken. Man muß berücksichtigen, daß es häufig innerhalb eines 0,8 sec.-Intervalls unseres Zeitrasters zu 2 oder mehr verschiedenen Fixationen unterschiedlicher Raumpunkte gekommen ist und unsere Meßwerte dann die Durchschnittswerte der EOG-Aufzeichnungen wiedergaben. So liegen die Kreuze im CVG zwischen den 2 oder 3 kurz nacheinander fixierten Punkten und bewirken dadurch in der Punktwolke in der Mitte eine höhere Konzentration als am Rand der Silhouetten der Plastiken. Was wir also in den Punktwolken auswerten können ist nicht so sehr die absolute Dichte, sondern die Abweichung des Musters der Dichteverteilung vom geometrischen Mittelfeld der Plastik. Dieses Feld ist bei den Vögeln eher rund, bei Plastik 1 senkrecht und gestreckt. Bereiche höherer Dichte außerhalb dieser Mittellagen sind ihrer absoluten Punktkonzentration gegenüber überproportional zu bewerten.
Je mehr sich das Zeitraster einer Untersuchung unserer Art dem unteren Zeitlimit der Fixationsperioden von ca. 0,2 sec. nähert, um so mehr werden wir aus der absoluten Dichte der Punktwolken auf die Zeit schließen können, die die Blicke auf irgend einem Teil der Plastik ruhten.
Wie der Vergleich der Abb. 33 und Abb. 39 zeigt, kann ab einer bestimmten Punktdichte nicht mehr zwischen den verschiedenen Konzentrationen differenziert werden. Dieser Mangel könnte durch ein entsprechendes Computerprogramm leicht behoben werden.
Die Zeit beim Betrachten der Plastiken betrug bei uns 20 sec..

Es konnte in einer anderen Untersuchung unter ähnlichen Bedingungen (YARBUS) nachgewiesen werden, daß bei Verlängerung der 30
Zeitspanne um ein Vielfaches sich das Bewegungsmuster nicht ändert. Es kommt dann nämlich nicht, wie man vermuten könnte, zum Fixieren auch vorher nicht beachteter Einzelheiten, sondern nach Ablauf eines vollständigen Zyklus in ca. 25 sec. nur noch zur mehrfachen Wiederholung des vorher schon gezeigten Blicksprungmusters. Änderungen des Musters, z. B. im Sinne einer fokalen Konzentration von Kreuzen, wären also bei uns nicht durch Verlängerung der Zeitspanne, sondern durch andere Aufgabenstellung möglich gewesen.
Betrachten wir nun unter den genannten Aspekten die Punktwolken, dann müssen wir mehr nach den Begrenzungslinien der Bereiche über einer bestimmten Punktdichte urteilen als nach den Punktwolken selbst. In den Punktwolken der Plastik 1 zeigen sich z. B. im Innneren sehr dichte, kleine Bereiche, die durch helle Zonen voneinander getrennt sind. Wir glauben, daß man dieser kleinfleckigen Verteilung keine Bedeutung beimessen kann. Sie könnte beispielsweise dadurch bedingt sein, daß beim Ausmessen der EOG's, bei dem wir gerade zur Vermeidung dieser fleckigen CVG's auch Bruchteile von mm aufgeschrieben haben, gewisse Ziffernkombinationen bevorzugt wurden.
In Abb. 25 -28 sind repräsentative CVG's aller 4 Plastiken zusammengestellt. Für Plastik 1 haben wir auch Beispiele für nicht horizontal-dissoziierte Aufzeichnungen des rechten und linken Auges herausgesucht. Die Kombinations-CVG's sind dabei aber ähnlich denen bei dissoziierten Einzel-CVG's. (Abb.24)· Außerdem sind die Punktwolken aller 150Probanden zusammen mit den Begrenzungslinien der Dichtefelder abgebildet und denen einer kleinen ausgewählten Patientengruppe gegenübergestellt, deren CVG's sich besonders gut mit den Silhouetten der Plastiken deckten.
Bei Plastik 1 und 3 sind alle Bereiche etwa gleichmäßig stark belegt. Es fällt bei Plastik 1, 2 und 4 auf, daß die Dichteverteilungen der Punktwolken des gesamten Probandenkollektivs sich nicht wesentlich von denen der kleinen speziell ausgesuchten Gruppen unterscheiden.

Wie schon erwähnt, ist die Gesamterscheinung des CVG's von Bewegungskomponenten, also von der vorherrschenden Richtung der Blicksprünge bestimmt; die Punktwolke spiegelt aber Interessenverteilungen wieder. Ein unter einem größeren Winkel erscheinendes statisches visuelles Reizmuster kann nicht durch glattes Abfahren mit den Augen wahrgenommen werden. Auch das mehrfache Überspringen eines Areals durch weitgespannte Makro- Sakkaden trägt offensichtlich nicht zu seiner Erkennung bei. Es wird von vielen Autoren sogar [3, 16, 12] die Unterbrechung der visuellen Wahrnehmung während des kurzen Zeitintervalls des Blicksprunges festgestellt. Die gute Übereinstimmung der Punktwolkenformen der kleinen, nach der Hauptverlaufsrichtung ihrer Blicksprünge (CVG's) ausgewählten Gruppen mit denen des Gesamtkollektivs sowie eine Übersicht über alle CVG's lassen uns folgende Schlüsse ziehen: die ganze Figur kann auf verschiedene Weise gleichmäßig mit Fixationspunkten abgedeckt werden. Die Unterschiede bestehen in der Reihenfolge, in der die Punkte angelaufen werden. Daraus ergeben sich auch verschiedene Richtungen der Bewegungen und CVG's von verschiedenem Aussehen. Insbesondere wenn große Blicksprünge in Richtung der Hauptausdehnung der Plastiken vorkommen, sehen sich die Silhouetten der Plastiken und die CVG's ähnlich. Die großen, die Plastik überspringenden Sakkaden tragen aber nicht zur Erkennung des Zentrums bei. Deshalb sind sie kombiniert mit Bewegungen in gleicher Richtung, die mehrfach durch Fixationsperioden unterbrochen sind. Es ergibt sich daraus die gleichmäßige Verteilung der Punkte. Andere, in ihrem Ablauf nicht den Formen der Plastiken folgende Bewegungsmuster, bei denen die Augen regellos innerhalb der Umrisse der Figuren von einem Fixationspunkt zum anderen springen, decken das gesamte Feld ebenso gleichmäßig ab.

Wir haben die Präzision der Angaben über die gesehenen Plastiken bei den Probanden der kleinen Gruppen mit den "guten" CVG's mit denen des Gesamtkollektivs verglichen und konnten keine Unterschiede festellen. Wir schließen daraus, daß die

Bewegungsmuster, die hauptsächlich die großen Ausdehnungen der Plastiken nachahmen, keine Vorteile in der Wahrnehmung gegenüber den in ihrer Richtung regellos verlaufenden Bewegungen erbringen.

Wir können die Situation, in der unsere Probanden standen in mancher Hinsicht mit der eines Lesenden vergleichen. In beiden Fällen kann der Inhalt des visuellen Musters nur erfaßt werden, wenn im einen Fall die ganze Strecke, im anderen Fall der ganze Raum (für uns vereinfacht: die Fläche) genügend dicht mit Fixationspunkten abgedeckt wird. Beim Lesen ist ein großer Teil der Information in der gerichteten räumlichen Anordnung der Elemente enthalten (Anordnung der Wörter in der Zeile).Diese kann durch zeitlich aufeinanderfolgende, hauptsächlich an der räumlichen Reihenfolge von links nach rechts orientierte Aufnahmen von Elementen (Wörter oder Silben) vom Subjekt erfasst werden. Auch bei der Plastik liegt der Hauptteil der Information in der räumlichen Anordnung der Elemente zueinander (Elemente sind hier Winkel, Kanten, usw.). Im Unterschied zum geschriebenen Text kommt es aber dabei nicht auf die einfache, gerichtete Beziehung jedes Elementes zu dem vor oder nach ihm auf einer Geraden liegenden an, sondern hier wird bereits auf der untersten Stufe der Wahrnehmung die Beziehung aller Elemente untereinander wichtig. Die Menge dieser wichtigen Beziehungen hängt von der Komplexizität der Plastik ab. (Lineare Strukturen, räumliche, flächige usw.) Dabei ist keiner Reihenfolge ihrer Betrachtung der Vorrang gegeben. Offensichtlich werden die nacheinander wahrgenommenen Beziehungen der Elemente zueinander unabhängig vom Zeitpunkt ihres Eingangs zentral gleichberechtigt repräsentiert und zum Gesamteindruck zusammengefügt. Der Gesamteindruck eines Bildes hat ja keine zeitliche Dimension. Der Informationsgehalt wurde nur aus technischen Gründen(begrenzte Fovea) zeitlich nacheinander aufgenommen. Beim Lesen wird der Gesamteindruck zunächst noch in Analogie

mit der gehörten Sprache von der zeitlichen Sequenz mitbestimmt. Tatsächlich finden wir beim Lesen bei allen Versuchspersonen weitgehend einheitliche Bewegungsmuster. Wir schließen, daß beim Betrachten von Figuren die interindividuelle Ähnlichkeit aus den genannten Gründen weitgehend aufgehoben ist.

Erst wenn bei Bildern ein Element (= ein Bereich der zentral abgebildet wird) für sich bereits einen hohen Informationswert hat, z. B. dadurch, daß es sich um bekannte Muster (Gesichter, Augen etc.) handelt, wird es bei allen Probanden zu ähnlichen Bewegungsabläufen kommen, da aus Erfahrung schon bekannt ist, in welchen Beziehungen zwischen solchen Elementen die meisten Informationen zu erwarten sind. Es wird dann ein Bewegungsablauf gewählt, der sehr wenig Zeit beansprucht. Dies ist bei den Bildern von YARBUS gegeben, so daß er das Betrachten von Bildern scharf vom manuellen Palpieren eines Gegenstandes bei geschlossen Augen unterscheidet. Bei unseren Plastiken kommt es aber offensichtlich nicht sofort zum Erkennen einzelner sinnvoll einander zugeordneter Elemente, so daß die Plastik vom Betrachter in einer Art betrachtet wird, die dem manuellen Abtasten ähnlicher ist. Die Reihenfolge ist dann nicht so einheitlich dadurch gekennzeichnet, daß nur sinnvoll Punkte mit hohem Informationsgehalt angelaufen werden. Hieraus erklärt sich die Vielzahl der verschiedenen Bewegungsmuster innerhalb unseres Gesamtkollektivs.

Wie lange das Auge durchschnittlich auf den einzelnen Teilen der Plastiken ruhte, zeigt ein Blick auf die Abb. 36 - 39. Die 2-dimensionale Projektion der Plastik 1 ist von den Punktwolken völlig eingehüllt. Innerhalb der Wolke gibt es, abgesehen von der beschriebenen zentralen Konzentration, keine Fokussierungen. Die Form wurde also gleichmäßig mit Fixationspunkten abgedeckt, es liegt also mehr ein Bewegungsmuster vor, das dem der Palpation entspricht und nicht dem erwähnten zielgerichteten Anlaufen

sofort erkannter interessanter Bereiche. Ursache dafür mag sein, daß die Plastik 1 von allen durchschnittlich am schlechtesten erkennbar war.
Abb. 42 zeigt, wieviele Probanden die Plastiken überhaupt erkannten. Mit "erkannt haben" ist dabei die Fähigkeit zu einer für uns nachvollziehbaren Erklärung der Formen gemeint. Beispiel: Bezeichnung der Plastik 1 als Antenne oder Plastik 2 als Pflug wurden als falsch bewertet, Bezeichnung der Plastik 4 als Schmetterling ließen wir aber als mögliche Interpretation gelten. Abb. 43 zeigt,
wieviele Probanden genaue Angaben über die Plastiken machten. Als kleinere, weiße Streifen sind die Anteile des Gesamtkollektivs mit sehr detaillierten Angaben dargestellt. Für detaillierte Angaben über das bloße Erkennen hinaus sind noch intellektuelle Parameter, wie Merkfähigkeit, Konzentration und sprachliches Ausdrucksvermögen maßgeblich. Daß diese Statistik sich mehr auf Probanden-Eigenschaften, die obere Aufstellung auf der selben Seite aber auf Eigenschaften der Plastiken (die "Erkennbarkeit") bezieht, wird durch die geringen Unterschiede der prozentualen Anteile unter den einzelnen Plastiken deutlich.
Plastik 3 wird, ähnlich der ersten Figur, gut von den Punktwolken eingehüllt, doch zeigen sich hier bei den Probanden, deren CVGs den Silhouetten gut entsprachen(Abb. 32), Verdichtungszonen, die nicht durch die Tendenz unserer Punktwolken zur Mitte erklärbar sind. Die Plastik wird durchschnittlich auch besser erkannt als Plastik 1.
Die beiden Vögel waren wegen ihrer einfachen Formen am besten erkennbar. Sie liegen in Abb.42 gemeinsam mit über 90% der Probanden weit vor den anderen beiden Plastiken. Das Korrelat dieser besseren Erfassung ist in der Dichteverteilung der Punktwolken ein noch stärkeres Abweichen von der Konzentration in der geometrischen Mitte der Silhouetten, d.h. beim Betrachten eine zielgerichtete Verteilung der Fixationspunkte. Dies entspricht nicht mehr dem gleichmäßigen Abtasten wie bei Plastik 1. Der schnell gewonnene Gesamteindruck bei den beiden Vögeln führt dazu, daß die Flügel, die hier weniger Information liefern, sehr wenig oder gar nicht fixiert werden. Wichtig für das Erkennen der Vögel ist nur die Existenz der

Flügel. Als grobe, symmetrische Formen können sie anscheinend schon bei extrafovealer Projektion den nötigen Eindruck liefern. Weitere Fixation ist dann nach Assoziation mit dem bekannten visuellen Muster "Vogel" nicht mehr notwendig. Dies ist bei Plastik 4 mit den beiden symmetrischen Flügeln deutlicher als beim "Cognacvogel", dessen Flügel dem Betrachter perspektivisch verzerrt erscheinen und nicht so schnell erfaßt werden. Mehr Interesse findet der runde, vom allgemeinen Vogel-Schema abweichende Kopf, insbesondere der Doppelkopf des "Totenvogels". Obwohl er der höchste Punkt der Plastik ist, liegt er noch in einem Feld sehr hoher Dichte. Die Dichteverteilung der Punktwolken ist bei den Vögeln höher und schmaler als es einem geometrischen Mittelfeld ihrer Silhouetten entsprechen würde. Abb.44 zeigt, wie oft die beiden häufigsten Interpretationen des Doppelkopfes bei Plastik 4 geliefert wurden. Zwei Augen wurden, wahrscheinlich als plausiblere Erklärung, häufiger angegeben. Auffällig ist, daß 93% des Gesamtkollektivs die Plastik 4 erkannten, aber 20% der Probanden keine Angaben über den rätselhaften Kopf machten. Anscheinend wird die Wahrnehmung bekannter visueller Muster sehr wenig durch drastische Veränderungen einzelner Teile (Verdoppelung des Kopfes) gestört. Der Gesamteindruck "Vogel" war bei Plastik 4 nicht verändert.
Plastik 2 und 3 wurden noch einmal 20 Sekunden lang gezeigt, nachdem die Probanden je 3 Minuten lang nach rechts bzw. links gedreht worden waren und in entsprechender Position schlagartig gestoppt worden waren. Wir wollten damit eine Interferenz der vestibulären Impulse mit den retinal ausgelösten Blickbewegungen bei verschiedenen Patientengruppen sichtbar machen. Die CVGs zeigten bei sonst gleichem Grundmuster nach dem Drehen bei vielen Probanden eine auffällige Verbreiterung, bei anderen jedoch eine Verschmälerung. Bei den Probanden mit breiten CVGs waren aber nicht die typischen dreieckförmigen Nystagmussignale den normalen Abtastbewegungen überlagert, sondern die schnellen Sprünge beim Wechsel

der Fixationspunkte zeigten in horizontaler Richtung größere Amplituden. Bei schmalen CVGs waren diese Amplituden verkleinert. Bei Plastik 2 (nach Linksdrehung) wie auch bei Plastik 3 (nach Rechtsdrehung) waren die Anteile der verbreiterten und der verschmälerten CVGs mit je ca. 20% gleich hoch. Der Rest zeigte nach Drehung keine Veränderung.
Die Punktwolken aller Probanden waren nach Drehung in ihrer Form gegenüber denen vor Drehung nicht verändert. (Abb.40-41) Auffällig war, daß Probanden, die nach Linksdrehung eine Verbreiterung zeigten, nach Rechtsdrehung verschmälerte CVGs hatten und umgekehrt. Nur drei Probanden zeigten nach Drehung in beide Richtungen gleichsinnige Veränderungen der CVGs'. Dies mag ein Hinweis dafür sein, daß die Empfindlichkeit der meisten Personen gegenüber Drehbeschleunigungen jeweils eine Vorzugsrichtung aufweist, wobei beide Richtungen im Gesamtkollektiv gleich häufig vertreten sind.
Wir haben die Punktwolken noch eingesetzt, um eventuell vorhandene Unterschiede der Interessenverteilung bei verschiedenen Gruppen der Probanden aufzuklären. Wie schon erwähnt, hatten wir bei jeder Plastik eine kleine Gruppe von Probanden ausgesucht, deren CVGs den Umrissen der Figuren ähnlich sahen. Diese Gruppe erkannte die Plastiken durchschnittlich nicht besser als das Gesamtkollektiv. Umgekehrt haben wir dann das Teilkollektiv derer ausgesucht, die genaue Angaben über die gesehenen Objekte machen konnten. Beim Vergleich ihrer CVGs konnten wir keine relativ zum Gesamtkollektiv vorherrschenden Strukturen erkennen. Auch die Dichteverteilung der Punktwolken dieser Gruppe stimmt mit der aller 150 Versuchspersonen überein. Wir schließen daraus, daß die Güte der visuellen Wahrnehmung nicht an ein bestimmtes okuläres Bewegungsmuster gebunden ist. Wie aber das Beispiel des Patienten 94 unserer Monokasuistik zeigt, kann eine nystagtische Überlagerung der normalen Blickbewegungen zu Wahrnehmungsstörungen führen. Da

jedoch andere Patienten über eine normale Wahrnehmung verfügten, obwohl ihre Spontannystagmen nicht retinal gehemmt wurden, muß die Ursache der Störungen nicht in der ständigen Verschiebung des Bildes auf der Retina selbst liegen, sondern in einem Fehler der zentralen Integration dieser Verschiebungen und den sie verursachenden Innervationsmuster für die äußeren Augenmuskeln.

ZUSAMMENFASSUNG :

Bei 150 Probanden, davon 120 unausgewählte Patienten der Kopfklinik Würzburg, wurden über ein modifiziertes elektro-nystagmographisches Ableitverfahren Augenbewegungen bei 20 sec. langem Betrachten von vier Stahlplastiken in einem Koordinatensystem aufgezeichnet. Sowohl die Bewegungsmuster einzelner Probanden, als auch durchschnittliche zeitliche Verteilungen der Fixationspunkte innerhalb größerer Kollektive konnten sichtbar gemacht werden.
Danach ist unter den meist beobachteten Bewegungsmustern keines gegenüber den anderen mit einem besseren Erkennen der Plastiken verbunden. Nystagmische Überlagerungen waren manchmal mit Wahrnehmungsstörungen kombiniert.
Die Fixationspunkte sind insgesamt um so gleichmäßiger über das vorgesetzte Objekt verteilt, je weniger bekannte visuelle Schemen dieses enthält.

LITERATURVERZEICHNIS :

1) AANTAA, E.:
ON THE STABILITY OF THE CORNEO-RETINAL POTENTIAL DURING ENG RECORDING.
Ges. für Neurootologie und Aequ., Bd. I, 1975 S.110-119

2) ALEXANDER, G., MARBURG, O.:
HANDBUCH DER NEUROLOGIE DES OHRES.
Bd. I, 1924, S. 1089-1116; Bd. III, 1926, S. 513-600
Urban&Schwarzenberg Berlin-Wien

3) BRIDGEMAN, B.:
FAILURE TO DETECT DISPLACEMENT OF THE VISUAL WORLD DURING SACCADIC EYE MOVEMENTS.
Vision Research 15, 1975, S. 719-722

4) CASHELL, C.T.W., DURRAN, M.:
GRUNDRISS DER ORTHOPTIK.
Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York 1969

5) CLAUSSEN, C.F., LÜHMANN, M.V.:
DAS ELEKTRONYSTAGMOGRAMM UND DIE NEUROOTOLOGISCHE KENNLINIENDIAGNOSTIK.
Edition Medizin u. Pharmazie, Hamburg-Neu Isenburg 1976

6) COLLEWIJN, H., VAN DER MARK, F., JANSEN, T.C.:
Vision Research 15, 1975, S. 447-450

7) DECHER, H.:
VESTIBULARIS-FEINDIAGNOSTIK MITTELS NYSTAGMOGRAPHIE
Dr. Alfred Hüthig Verlag, Heidelberg 1965 (Bd. 28)

8) DODEN, W.:
SCHIELEN.
Die Untersuchung Schielender, 38. Heft, 1961, S. 105
Ferdinand Enke Verlag Stuttgart

9) FREY, R.G.:
ELEKTROOCULOGRAPHISCHE REGISTRIERUNG VON DISJUNKTIVEN AUGENBEWEGUNGEN UND VON BLICKBEWEGUNGEN UNTER PRISMENBELASTUNG.
Archiv für Ophthalmologie 166, 1963, S. 345-358

10) FRÖLICH, E.:
DIE AUGENBEWEGUNGEN BEI SINUSFÖRMIGER BLICKPENDELFOLGE.
Inaugural-Dissertation, Univ. Würzburg, 1976

11) GABERSEK, V.:
EVOLUTION DES RESPONSES ELEKTRONYSTAGMOGRAPHIQUES APRES ARTERIOGRAPHIE.
Ges. für Neurootologie und Aequ., Bd. IV, 1975, S.147-170

12) HALLETT, P.E.:
SACCADIC EYE MOVEMENTS TOWARDS STIMULI TRIGGERED BY PRIOR SACCADES
Vision Research I, 1976, S. 99-106

13) HENNING, H.:
ÜBER DIE AUSWAHL UND DIE ANLAGE VON ELEKTRONYSTAGMOGRAPHIEELEKTRODEN.
Ges. für Neurootologie und Aequ., Bd. I,
1975, S. 135-148

14) HENRIKSSON, N.G., PAHLM, O.:
ON THE FORMATION OF THE NYSTAGMUS SIGNAL BY THE INFLUENCE OF ELEKTRICAL TIME CONSTANTS.
Ges. fürNeurootologie und Aequ.,Bd.I,1975, S.149-159

15) HOFSTEIN, C.V.:
THE ROLE OF CONVERGENCE IN VISUAL SPACE PERCEPTION.
Vision Research I, 1976, S. 193-198

16) HONEGGER, H., SCHÄFER, W.D.:
REGISTRIERUNG VON AUGENBEWEGUNGEN ALS BEITRAG ZUR UNTERSUCHUNG DER SEHSCHÄRFE FÜR BEWEGTE OBJEKTE.
Archiv für Ophthalmologie 166, 1964, S. 601-616

17) HORTMANN, G.:
ÜBER TECHNISCHE BESONDERHEITEN HEUTIGER ELEKTRO-NYSTAGMOGRAPHIE GERÄTE.
Ges. für Neurootologie und Aequ.,Bd.I,1975,S.120-134

18) KÖTZ, B.D.:
ÜBER EINEN OPTOKINETISCHEN LESETEST MIT HILFE DER ELEKTRONYSTAGMOGRAPHIE.
Inaugural-Dissertation, Univ. Würzburg, 1977

19) KORNHUBER, H.H.:
HANDBOOK OF SENSORY PHYSIOLOGY, VESTIBULAR 6, VOL. 2
Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, New York 1974

20) MACKENSEN, G.:
DIE UNTERSUCHUNG DES SCHWACHSICHTIGEN AUGES.
SCHIELEN 38. Heft, 1961, S. 191 ff
Ferdinand Enke Verlag Stuttgart

21) MANGABEIRA ALBERNAZ, P.L. u. GANANCA, M.M.:
VERTIGEM
Edition Moderna Sao Paulo/Brasil 1976

22) MARG, E.:
DEVELOPMENT OF ELEKTRO-OCULOGRAPHY.
Archives of Ophthalmoloy 45, 1951, S. 169-185

23) OTTO, J.:
LEHRBUCH UND ATLAS DER ORTHOPTIK
Verlag Hans Huber, Bern, Stuttgart, Wien 1975

24) SCHÄFER, W.D.:
DIE BEDEUTUNG DES NYSTAGMUS IN DER OPHTHALMOLOGIE.
Ges. für Neurootologie und Aequ.,Bd.I, 1975,S.318-332

25) SCHÜTTLER, O.:
ÜBER DIE BEEINFLUSSUNG DER MEHRKANAL-AC-ELEKTRO-
NYSTAGMOGRAPHIE DURCH DEN ELEKTRODENHAUTWIDERSTAND
Inaugural-Dissertation, Univ. Würzburg, 1977

26) TULUNAY-KEESEY, U., JONES, R.M.:
THE EFECT OF MICROMOVEMENTS OF THE EYE AND EXPOSURE
DURATION ON CONTRAST SENSIVITY
Vision Research I, 1976, S. 481-488

27) UTTAL,W.R.:
VISUAL SPATIAL INTERACTIONS BETWEEN DOTTED LINE SEGMENTS
Vision Research I, 1976, S. 581-589

28) WESTHEIMER, G.:
MECHANISM OF SACCADIC EYE MOVEMENTS
A.M.A. Archives of Ophthalmology Bd. 52,
Juli-Dez. 1954, S. 710-724

29) WODATSCHEK, R.:
ÜBER EIN ELEKTRO-OKULOGRAPHISCHES VERFAHREN MIT
HILFE EINES AC-VERSTÄRKERS
Inaugural-Dissertation,Univ. Würzburg, in Vorbreitung
1980

30) YARBUS, A.L.:
EYE MOVEMENT AND VISION.
Plenum Press New York 1967

Herrn Prof. Dr. Claus F. Claussen danke ich für die Überlassung des Themas und die freundliche Unterstützung bei der Durchführung der Arbeit und der Auswertung der Ergebnisse.

Herrn Prof. Dr. W. Kley danke ich für die freundliche Übernahme des Koreferates.

LEBENSLAUF

Zuname	Tondrow
Vorname	M.Mehdi
Geb. Datum	22. 6. 1948
Geb. Ort	Babol/Iran
Vater	Gholamhosein Tondrow Beamter (verstorben)
Mutter	Iran Ghiazian Lehrerin
Schule	Grundschule: von 1955 bis 1961 in Teheran Gymnasium : von 1961 bis 1967 in Teheran Abitur : 1967 (Kharazmi Gymnasium-Teheran)
Militärdienst	Von Herbst 1968 bis Herbst 1970 im Iran
In Deutschland	Ab Januar 1971 Besuch eines Deutschkurses im Goethe-Institut in Passau. Ab September 1971 Besuch des Studienkollegs in Mainz und Abschluß desselben im April 1972. Im WS 1972/73 bis WS 1973/74 war ich in der TH-Darmstadt in dem Fach Maschinenbau immatrikuliert Ab SS 1974 Medizinstudium in Würzburg. Medizinisches Staatsexamen im April/Mai 1980 in Würzburg. Die vorliegende Arbeit wurde 1977/78 angefertigt.

M. Tondrow